

**Биологические и химические
эффекты антропогенного
эвтрофирования Ижевского
водохранилища**



Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

**Котегов Б.Г., Аксенова Н.П., Захаров В.Ю.,
Холмогорова Н.В., Фефилова К.К.**

**Биологические и химические эффекты
антропогенного эвтрофирования
Ижевского водохранилища**

Ижевск – 2013

УДК 574.52/.63:504.064 (470.51)

ББК 28.082.13

Б 633

Коллектив авторов:

Б.Г. Котеков, Н.П. Аксенова, В.Ю. Захаров, Н.В. Холмогорова,
К.К. Фефилова

Под редакцией кандидата биологических наук Б.Г. Котекова

Рецензенты:

доктор биологических наук Л.Г. Корнева

доктор биологических наук В.В. Туганаев

**Б 633 Биологические и химические эффекты антропогенного
эвтрофирования Ижевского водохранилища: Монография / Под ред.
Б.Г. Котекова. — Ижевск: Удмуртский университет, 2013. — 177 с.**

В работе приводятся результаты трехлетних исследований экологического состояния Ижевского водохранилища, проведенных в 2010-2012 годах в рамках изучения причин и последствий его эвтрофирования. За период исследований были выяснены основные характеристики летне-осеннего «цветения» водоема, определена связь сезонной динамики количественных показателей фитопланктона с изменением содержания ключевых биогенных элементов в толще воды, выявлены некоторые закономерности пространственного распределения биогенных веществ в пелагиали и донных отложениях водохранилища. Предварительно оценены количественные уровни годовой фосфорной нагрузки на Ижевское водохранилище и выяснены некоторые особенности цикла фосфора в его экосистеме. Попутно изучена сезонная динамика количественных показателей зоопланктона, зообентоса и макрофитов данного водоема. Для улучшения современного экологического состояния Ижевского водохранилища и снижения темпов его эвтрофирования рекомендуется проведение мероприятий по очистке донных отложений от избытка иловых масс и частичному удалению годовой продукции водных макрофитов.

Книга предназначена для специалистов в области гидробиологии, пресноводной экологии и контроля качества водной среды, а также для преподавателей и студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям «Экология и природопользование» и «Биология».

ISBN

УДК 574.52/.63:504.064 (470.51)

ББК 28.082.13

© Б.Г. Котеков, Н.П. Аксенова, В.Ю. Захаров,
Н.В. Холмогорова, К.К. Фефилова, 2013.

© ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный
университет», 2013.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденция ухудшения состояния экосистемы Ижевского водохранилища, наблюдающаяся в последние десятилетия, приобрела явную социальную значимость после того, как с 2003 года обозначились проблемы в обеспечении необходимых стандартов качества воды, подаваемой из этого водоема в коммунальные сети хозяйственно-питьевого водоснабжения города Ижевска. Одной из причин возникновения данных проблем могло стать массовое развитие в водохранилище в летне-осенние периоды некоторых планктонных групп цианопрокариот. Подобное «цветение» воды ежегодно сопровождалось значительным ухудшением органолептических и общесанитарных показателей качества воды в акватории водохранилища, в том числе и в районе городского водозабора.

Чтобы выяснить условия и механизмы массового размножения цианопрокариот в Ижевском водохранилище, в 2010–12 годах сотрудниками биолого-химического факультета Удмуртского государственного университета совместно с двумя лабораториями АУ «Управление Минприроды УР» был проведен комплекс гидрохимических и гидробиологических исследований водоема. Основные результаты данных исследований приведены в настоящей коллективной монографии.

Авторы монографии выражают признательность Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики в лице М.Г. Кургузкина, Г.Г. Фризоргера и А.В. Кузнецова за финансовую и организационно-техническую поддержку исследований, а также сотрудникам Центральной спасательной станции государственной инспекции по маломерным судам Удмуртской Республики за помощь в сборе первичного материала и Муниципальному унитарному предприятию г. Ижевска «Ижводоканал» за предоставленные для сравнительного анализа данные.

ГЛАВА 1. АНТРОПОГЕННОЕ ЭВТРОФИРОВАНИЕ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

Влияние хозяйственной деятельности на процессы эвтрофирования пресноводных экосистем

Эвтрофирование пресноводной экосистемы — природный сукцессионный процесс, который проявляется в постепенном накоплении органического вещества, продуцированного самой экосистемой в ходе ее развития. Накопление различных органических соединений, в свою очередь, связано с увеличением скорости образования биологической продукции в пресноводной экосистеме по сравнению со скоростью микробиологической деструкции и минерализации органического вещества, что наиболее явно проявляется в небольших и мелководных водоемах с замедленным водообменом и температурно-световыми условиями, благоприятными для роста и развития водных продуцентов.

В то же время хозяйственная деятельность человека, затрагивающая своим воздействием водоемы озерного типа и их водосборную территорию, может существенно сократить время их олиготрофно-эвтрофной сукцессии от нескольких тысяч или даже миллионов лет до нескольких десятилетий (Хендерсон-Селлерс, Марклэнд, 1990). Антропогенное эвтрофирование озер и водохранилищ чаще всего связано с избыточным поступлением в их водные экосистемы аллохтонных, легко разлагаемых органических веществ и биогенных соединений азота и фосфора в составе коммунально-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных стоков, а также в составе талых и дождевых смывов с трансформированных участков территории водосбора, измененных в процессе распахивания плодородного слоя почвы, выпаса скота, вырубки леса, осушения болот, добычи полезных ископаемых, строительства и других видов хозяйственной деятельности. Поступающие извне органические и биогенные минеральные вещества встраиваются в пастбищные и детритные пищевые сети пресноводных биоценозов, вызывая в конечном итоге ускорение процессов накопления отмерших компонентов первичной и вторичной биологической продукции на дне водоемов и формирования илисто-детритных, сапропельных или торфяных донных отложений. Эти биогенные отложения вкупе с поступающими с водосбора минеральными

взвесями природного и антропогенного происхождения, также аккумулирующимися на дне, в свою очередь, способствуют обмелению водоемов и зарастанию их укореняющейся высшей водной растительностью, что в конечном итоге может привести к образованию из пресноводной озерной экосистемы низинного болота.

Кроме того, органические вещества, содержащиеся в иловых отложениях, как правило, подвержены первичному аэробному разложению с высвобождением в водную среду растворенных неорганических веществ (нитритов, нитратов, ортофосфатов, сульфатов и др.) и уменьшением концентрации растворенного кислорода. Следствием этого являются заморные явления, летом наиболее характерные для придонных слоев стратифицированных водоемов, зимой — для замерзающих мелководных и непроточных участков водоемов. Дефицит кислорода в пресноводной экосистеме не только вызывает гибель оксифильных водных организмов, но и усиливает анаэробные микробиологические процессы разложения многих органических соединений, сопровождающиеся накоплением в воде токсичных продуктов этого разложения (сероводород, аммиак), угнетающих жизнедеятельность большинства групп гидробионтов. В результате изменение гидрохимических показателей пресных водоемов, связанное с усилением процессов эвтрофирования, ограничивает их использование в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также в рекреационных и рыбохозяйственных целях.

В том случае, когда озеро или водохранилище характеризуется достаточно большой глубиной, основу первичной продукции в антропогенно эвтрофированном водоеме могут составлять не макрофиты, развивающиеся преимущественно у берегов и на мелководных участках, а некоторые группы планктонных водорослей, способных многократно за вегетационный сезон обновлять свою биомассу, периодически увеличивая свою численность на несколько порядков, вызывая тем самым «цветение» водоема.

Проблема «цветения» воды в пресных водоемах

«Цветение» воды является наиболее наглядным последствием антропогенного эвтрофирования водоема и возникает в результате массового размножения («вспышки» численности) отдельных представителей альгофлоры, выходящих на доминирую-

щие позиции в составе планктонных сообществ и формирующих достаточно плотные скопления в толще воды или на ее поверхности, вызывая изменение органолептических показателей цветности, прозрачности и запаха в водной среде. Избыточное и регулярное «цветение» воды необходимо рассматривать как биологический сигнал о неблагополучном состоянии пресноводной экосистемы. В связи с этим устранение самого неблагоприятного явления «цветения» воды при сохранении причин, его порождающих, и условий, оптимизирующих развитие водорослей до крайне высоких уровней их численности и биомассы, является малореальным и бесперспективным (Сиренко, Гавриленко, 1978). В большинстве водоемов умеренной климатической зоны периодическое массовое развитие некоторых видов планктонной альгофлоры, представляющих группу *Cyanobacteria* (цианобактерии, прокариотические синезеленые водоросли), реже — таксоны эукариотических водорослей из отделов *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Dinophyta*, *Cryptophyta* или *Chrysophyta*, как правило, вызвано повышенной биогенной нагрузкой — избыточным поступлением в водоем биологически доступных соединений азота и фосфора, связанным прямо или косвенно с хозяйственной деятельностью человека. Биогенная нагрузка на водоем может быть как внешней — это поступление биогенных минеральных и органических веществ с водосбора в составе сточных вод, речного стока и поверхностного смыва, так и внутренней — это высвобождение биогенов из донных отложений, разложение в толще воды погибших гидробионтов и их отдельных частей, выделение растворенных метаболитов и биологически активных веществ водными растениями и микроорганизмами, экскреция органических веществ и неорганических продуктов азотистого обмена водными животными. При этом в зависимости от соотношения водных концентраций тех или иных биологически доступных форм азота и фосфора вспышки численности могут наблюдаться в разных таксономических группах планктонных водорослей.

Так, при высоких значениях отношения концентрации общего азота к общему фосфору ($[N_{\text{общ}}] : [P_{\text{общ}}]$) в пелагиали водоема на доминирующие позиции в составе фитопланктона выходят эукариотические водоросли, как правило, из диатомовых или зеленых (Левич и др., 1997). Наоборот, многие прокариотические представители фитопланктона, вызывающие «цветение» воды, наиболее конкурентоспособны в условиях низких значений $[N_{\text{общ}}] : [P_{\text{общ}}]$

и могут существенно увеличивать свою численность, когда растворенных неорганических соединений азота (в первую очередь, нитратов) в воде мало, но в то же время наблюдается избыток фосфат-ионов и растворенных низкомолекулярных органических соединений, содержащих фосфатные группы (Трифенова, 1990). Связано это со способностью ряда видов цианопрокариот компенсировать недостаток ионных форм азота в водной среде усвоением газообразного молекулярного азота N_2 в процессе азотфиксации, который чрезвычайно энергозатратен. Основным же аккумулятором и поставщиком химической энергии для обеспечения метаболизма в клетках организмов, в том числе и цианопрокариот, являются молекулы АТФ (аденозинтрифосфата), для синтеза которых необходимо большое количество фосфат-групп. Таким образом, именно биологически доступные соединения фосфора чаще всего являются основным химическим фактором (субстратом), лимитирующим рост численности азотфиксирующих видов синезеленых водорослей, таких как представители рода *Anabaena* и другие гетероцистные нитчатые цианобактерии. В то же время для синезеленых водорослей, неспособных к азотфиксации, лимитирующим пищевым субстратом в определенных условиях может стать и азот, находящийся в воде или донных отложениях в различных формах. В отличие от большинства планктонных зеленых водорослей, которые наиболее требовательны к содержанию в воде нитратного азота (Судницына, 2005), цианопрокариоты более вариабельны в выборе азотистых соединений для питания и могут в массе развиваться при полном отсутствии нитратов, используя аммонийный азот (например, *Aphanizomenon* sp., *Microcystis aeruginosa* Kutz. emend. Elenk.) или даже растворенные низкомолекулярные органические азотистые соединения — аминокислоты (Трифенова, 1990).

Некоторые виды синезеленых водорослей из порядка *Oscillatoriales* способны активно наращивать свою численность при гетеротрофном питании растворенными органическими соединениями, поэтому их можно рассматривать в качестве биологических индикаторов высокой степени эвтрофирования пресноводной экосистемы. При этом, как минимум, один из видов осцилляториевых, *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom., который до недавнего времени относили к роду *Oscillatoria*, является олигофотным и эвритермным, что обеспечивает ему конкурентные преимущества в росте и развитии перед другими видами цианопрокариот и эука-

риотических водорослей в условиях пониженной освещенности и низких температур водной среды. Как следствие, этот вид способен вызывать «цветение» водоемов даже зимой подо льдом, а летом в озерах и водохранилищах чаще всего концентрируется в термоклине или гипolimнионе, который в стратифицированных условиях насыщается биогенными элементами, высвобождающимися из донных отложений (Трифенова, 1990). При этом по сравнению с большинством эукариотических планктонных автотрофов *P. agardhii* и некоторые другие пелагические цианобактерии из порядка *Oscillatoriales* могут успешно фотосинтезировать в более глубоких слоях воды в условиях недостатка освещения, регулируя свое расположение в толще пелагиали за счет вертикальных миграций, осуществляемых с помощью изменения нейтральной плавучести, обеспечиваемой наличием газовых вакуолей. «Вспышки» численности планктонных представителей осцилляториевых цианобактерий в водоемах могут сопровождаться накоплением в воде химических продуктов их жизнедеятельности, способных беспрепятственно проникать через очистные сооружения водозаборов в системы хозяйственно-питьевого водоснабжения и вызывать ухудшение органолептических и токсикологических свойств питьевой воды (Сиренко, Козицкая, 1988; Телитченко, Остроумов, 1990).

В настоящее время «осцилляториевая болезнь», связанная с круглогодичной вегетацией планктотрихетового комплекса цианобактерий с доминированием *P. agardhii*, *Limnothrix redekei* (van Goor) Meffert, *Pseudanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., активно вытесняющих другие виды фитопланктона и массово развивающихся до значений численности в несколько млн клеток на 1 мл, поразила многие озера в Европе и быстро распространяется в водоемах умеренной зоны России, подверженных значительному антропогенному эвтрофированию (Scheffer et al., 1997; Ляшенко, 2001; Kleeberg, 2003; Сиделев, 2010 и др.). Как следствие, для таких эв- и гипер-трофных водоемов планктотрихетового типа возникает необходимость проведения целенаправленных восстановительных мероприятий, помогающих понизить их трофический статус и уменьшить масштабы «цветения». Большинство подобных мероприятий так или иначе основано на ограничении внешней и внутренней биогенной нагрузки на водоем. При этом основное внимание уделяется регулированию поступления в водоем фосфорсодержащих биоло-

гически доступных химических соединений (Хендерсон-Селлерс, Марклэнд, 1990; Прыткова, 2002 и др.).

Роль фосфора в эвтрофировании пресных водоемов

Биологически доступный (усваиваемый живыми организмами) фосфор может поступать в озеро или водохранилище с поверхностным стоком с водосбора, а также появляться в толще воды из донных отложений и литоральной зоны в результате вторичного автохтонного (внутреннего) загрязнения. В поверхностном стоке, представленном реками-притоками, антропогенными сточными водами и береговым смывом, биологически доступный фосфор присутствует как в неорганическом виде (растворенные орто- и полифосфаты), так и в составе органических веществ, поступающих в принимающий водоем в виде организмов планктона и сиртона (речного дрифта), триптона (взвешенных частиц детрита) и высокомолекулярных коллоидных частиц (Хатчинсон, 1969). В минеральных взвешях, образующихся при разрушении горных пород, большая часть фосфора, как правило, прочно связана и слабо вовлекается в биологические процессы (Добровольский, 2006). Источником растворенных фосфат-ионов, поступающих с водосбора, в основном служит антропогенная деятельность: внесение фосфорных удобрений (суперфосфатов и т. п.) на поля и садово-огородные участки; коммунально-бытовые стоки, содержащие детергенты — синтетические вещества бытовых моющих средств на основе полифосфатов. Органический фосфор, присутствующий в поверхностном стоке, имеет происхождение как природное (растительный опад и частицы почвы, поступающие с водосбора с талыми и дождевыми водами в результате водно-эрозионных и абразионных процессов), так и антропогенное (организованные стоки животноводства, пищевой промышленности и ЖКХ, смыв органических удобрений с сельскохозяйственных угодий, смыв растительной органики с территорий сенокосов и лесозаготовок, искусственный дренаж торфяников и др.). В конечном итоге, суммарная внешняя биогенная нагрузка на водоем в пересчете на поступление массы общего фосфора за год на единицу площади акватории может быть весьма значительной и привести к увеличению темпов эвтрофирования водной экосистемы, которое будет сопровождать-

ся усилением процессов «цветения» воды и ухудшением санитарно-гигиенических показателей ее качества.

Внутренняя биогенная нагрузка на пресные водоемы в условиях умеренной зоны северного полушария, как правило, существенно возрастает в середине-конце лета, что характерно для многих озер и водохранилищ (Сиренко, Гавриленко, 1978; Сохранение..., 1984; Выхристюк, 1989; Трифонова, 1990; Прыткова, 2002). Значительные количества растворенного фосфора, как органического, так и в виде ортофосфатов, образуются на литорали эвтрофных водоемов в результате отмирания и разложения фитомассы водных продуцентов. Особенно интенсивно разложение фитомассы происходит при высоких температурах на открытых и прогреваемых мелководьях озер и водохранилищ. Увеличению поступления фосфора способствует также перемешивание детритно-илистых отложений на литорали в результате воздействия ветровых волн, активно питающихся рыб-бентофагов, а также рыбного промысла, рекреации и гидротехнических работ (удаления донных отложений, строительства дамб и др.).

В достаточно глубоких (более 5–6 м) димиктических стоячих водоемах, в которых зимой и летом наблюдается выраженный слой гипolimниона, высвобождению (растворению) фосфатов из донных отложений способствует стагнация и дефицит кислорода в придонных слоях. В результате уменьшения редокс-потенциала водной среды в гипolimнионе осажденные в поверхностных фракциях донных отложений фосфаты окисного железа (Fe^{3+}) растворяются с выделением закисного железа (Fe^{2+}) и фосфат-ионов в толщу воды. Также усиливается выделение ортофосфатов из илистых грунтов в гипolimнион при анаэробном разложении органики и в процессе десорбции с поверхности частиц донного грунта. В свою очередь, поступление фосфатов из гипolimниона в эпilимнион в глубоких озерах умеренной зоны происходит весной и осенью при перемешивании поверхностных и придонных слоев воды в результате конвекции, обусловленной гомотермией; в мелководных озерах этот процесс может происходить и в результате динамического перемешивания при сильном волнении в течение всего безледного периода.

По мнению ряда авторов (Хатчинсон, 1969; Мартынова, 1984; Выхристюк, Варламова, 2003), донные отложения водоема являются временным депонентом фосфора, получая его из толщи

воды в результате седиментации биоорганических взвесей, химического осаждения ортофосфатов некоторых металлов, а также их физической сорбции на глинистых частицах дна и диффузии в поровые растворы. Наибольшие количества общего фосфора накапливаются в тонких илистых фракциях на поверхности мягких донных грунтов, песчаные и каменистые отложения имеют в своем составе значительно меньше биологически доступного фосфора (Выхристюк, Варламова, 2003; Иванов и др., 2003). Выделение фосфора из донных отложений в толщу воды происходит наиболее интенсивно при деструкции мертвой органики посредством диффузионного потока растворенных фосфатов с поверхности ила, в высокоэвтрофных водоемах также велика роль конвективного переноса фосфора в толщу воды с поровым раствором при интенсивном газоотделении со дна (Мартынова, 1988). Деструкционные процессы на дне небольших мелководных водоемов активизируются во второй половине лета с прогревом всей толщи воды. Именно в этот период фосфор наиболее интенсивно выделяется из заиленных донных грунтов в поверхностные слои воды, скорость его выделения в некоторых озерах колеблется от 4 до 40 мг/м² в сутки (Сохранение..., 1984; Прыткова, 2002). В более глубоких стратифицированных водоемах часть фосфора может удаляться на длительное время в глубоководные придонные слои воды и возвращается на мелководья лишь в периоды весенней и осенней циркуляции (Хатчинсон, 1969).

В летнее время фосфаты, поступившие в толщу воды из мелководных донных отложений, активно поглощаются высшей водной растительностью на прибрежных участках водоемов. По некоторым данным (Логинова, Лопух, 2011), такие широко распространенные виды прибрежно-водных макрофитов, как тростник обыкновенный *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., пороз узколистный *Typha angustifolia* L. и камыш озерный *Scirpus lacustris* L., способны поглотить около 4 г фосфора на 1 кг сухой фитомассы. Наиболее активно извлекают фосфор из прибрежной толщи воды низкотравные воздушно-водные растения — сусак зонтичный *Butomus umbellatus* L., частуха подорожниковая *Alisma plantago-aquatica* L., некоторые виды ежеголовников из рода *Sparganium* и хвощей из рода *Equisetum*. В то же время наибольшую биомассу на единицу площади водоема продуцируют высокотравные гелофиты — тростники, рогозы и камыш озерный (Мережко, 1973). По

мнению В.Г. Папченкова (2003), величины годовой фитопродукции водоема, составляющие 700-800 г/м² и более, свидетельствуют о неблагоприятном состоянии водной экосистемы, связанном с естественным или искусственным повышением ее трофического статуса (эвтрофированием). При этом отмирание фитомассы водных сосудистых растений в конце вегетационного сезона и последующее осаднение мертвой органики на мелководьях сопровождается осенним накоплением в составе прибрежных донных отложений общего фосфора, который постепенно в течение зимы может высвобождаться в толщу воды (Хатчинсон, 1969; Мартынова, 1995; Прыткова, 2002). Зимнее высвобождение растворенных фосфатов вследствие деструкции донной органики идет значительно менее интенсивно, чем летнее, в связи с низкими температурами воды. В условиях ограниченного газообмена толщи воды с атмосферой, которые обусловлены ледоставом в зимний период, аэробное разложение органических веществ может приводить к заморным явлениям в водоеме.

Таким образом, роль донных отложений и водных макрофитов в регуляции содержания биологически доступного фосфора в поверхностных слоях воды озер и водохранилищ весьма существенна, а для небольших стоячих эвтрофированных водоемов нередко является определяющей. Вследствие вторичного автохтонного загрязнения водоема, связанного с высвобождением биогенных элементов из его донных отложений, концентрация общего фосфора в пелагиали может периодически возрастать в несколько раз, что способствует «вспышкам» численности фитопланктона, в первую очередь, синезеленых водорослей (Сиренко, Гавриленко, 1978; Левич и др., 1997). При этом среднегодовое содержание общего фосфора в мезотрофных водоемах не должно превышать 0,035 мг/л, тогда как в эвтрофных водоемах оно может составлять 0,035–0,100 мг/л, в высокоэвтрофных — более 0,100 мг/л (Vollenweider, Kerekes, 1980).

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ижевское водохранилище (Ижевский пруд) – искусственный водоем, созданный в центральной части Удмуртской Республики на реке Иж в 189 км от ее устья в 1760–63 годах для нужд Ижевского железоделательного завода. В 1816–24 годах после расширения и поднятия плотины Ижевский пруд достиг своих максимальных размеров и вплоть до начала советского периода гидроэнергетического строительства оставался одним из крупнейших водохранилищ России. В настоящее время объем пруда при НПУ 99,5 м составляет 76,3 млн м³, полезный объем — 42,2 млн м³, площадь зеркала — 26,4 км². Максимальная длина водоема от створа плотины до устья реки Люк — точки выклинивания верхнего подпора — составляет 11,4 км, максимальная ширина на участке Вараксинского залива — 2,3 км. Максимальная глубина водохранилища у плотины достигает 12 м, средняя глубина — 3,2 м. Площадь мелководий с глубинами до 2 м составляет в водоеме около 7 км², протяженность береговой линии при НПУ — 35 км.

Конфигурация водного зеркала позволяет условно разделить водоем на три части: верхний, средний и нижний плесы. Верхний плес вытянулся от пос. Воложка до створа «Юровский мыс — Дом отдыха» и является наиболее мелководным участком Ижевского водохранилища. Сюда впадают его основные притоки — реки Иж, Люк, Пазелинка, Шабердинка, а также ручей Пионерский. В результате проведения дноуглубительных работ вдоль левого берега от пешеходного моста до Соловьевской дачи на дне верхнего плеса образована небольшая по площади впадина вытянутой формы с максимальными глубинами более 7 м. Между створами «Юровский мыс — Дом отдыха» и «Вараксинский мыс — Городской водозабор» расположен самый широкий средний плес Ижевского пруда, куда впадает несколько малых безымянных ручьев. Здесь максимальные глубины отмечаются вдоль затопленного русла реки Иж и составляют 6–8 м. От створа «Вараксинский мыс — Городской водозабор» до плотины вытянулся нижний плес водохранилища, водосбор которого целиком расположен в селитебной и промышленной зонах г. Ижевска и представлен, в первую очередь, бассейнами двух притоков — рек Подборенка и Малиновка. В этой части Ижевского водохранилища расположены наиболее

глубоководные участки — до 11–12 м, при этом участки с глубинами более 6 м занимают около половины всей акватории нижнего плеса. Здесь в 2006–08 годах также проводились дноуглубительные работы, в результате чего в правобережье плеса была сформирована «зона намыва» — участок спрямленного и выдвинутого в акваторию берега, отсыпанный вынутым и промытым донным грунтом и отгороженный от воды глиняной дамбой с дренажными трубами.

Ижевское водохранилище характеризуется наличием волновых процессов, специфика которых определяется конфигурацией его водного зеркала и «розой ветров». Наиболее подвержена волнениям приплотинная часть пруда, где при преобладающих юго-западных ветрах длина разгона волн составляет 2 км, а высота волн при скорости ветра 20 м/с достигает 2 м. Волновые процессы обуславливают наибольшую абразию берегов в районе парка культуры и отдыха имени Кирова г. Ижевска. В настоящее время на абразионных участках левобережья нижнего плеса ведутся берегоукрепительные работы, включающие в себя реконструкцию набережной Ижевского пруда и изменение формы береговой линии.

Колебания уровня воды в Ижевском водохранилище в летне-осенне-зимний периоды вызваны в основном состоянием водности реки Иж и ее притоков, а также объемами водопотребления для хозяйственно-питьевых нужд. Эти колебания происходят в интервале 98,2–99,5 м абсолютных отметок при УМО, равном 97,26 м. Для приема весеннего паводка на водохранилище проводится искусственная предполоводная сработка уровня воды с интенсивностью 1–2 см в сутки в течение 35–40 дней, в результате чего водоем опоражнивается на 37–42 млн м³. Максимальный расчетный расход паводка 1-процентной обеспеченности составляет 350,0 м³/с с общим объемом 340,7 млн м³. Минимальные расчетные 30-суточные летне-осенние и зимние расходы воды в створе Ижевского гидроузла составляют всего 1,2–2,0 м³/с. В меженные периоды маловодных лет санитарный попуск воды из Ижевского пруда в нижнее течение реки Иж может осуществляться только через неплотность затворов гидропропускного сооружения и не превышает 0,116 м³/с (Своекошин, 2002б).

По гидрохимическому составу воды Ижевского водохранилища относятся к гидрокарбонатному классу, общая ионная минерализация с мая по март возрастает от 189 до 324 мг/л. Жесткость за этот же период возрастает от 2,14 до 3,73 мг-экв./л кальция

и магния (Рысин, 2004). На всей акватории Ижевского пруда достаточно регулярно отмечается несоответствие значений таких физико-химических характеристик воды, как цветность, прозрачность и окисляемость, санитарно-гигиеническим нормативам качества. На отдельных участках водоема в определенные сезоны наблюдается устойчивое превышение ПДК по таким химическим показателям, как содержание в воде железа, марганца, нефтепродуктов, азота аммонийного, а также БПК₅ (Стурман и др., 2002). Загрязняющие вещества поступают в Ижевское водохранилище с водосборного бассейна с притоками, а также с тальми и дождевыми смывами с городской территории. Согласно расчетам 1994 года, проведенным институтом Ленгипроводхоз (цит. по: Егоров, 2002), в водоемы и водотоки бассейна Ижевского пруда со сточными водами ежегодно поступает 38,1 т общего фосфора, 245,6 т общего азота, 10,0 т хлорид-ионов и 500,9 т нефтепродуктов. Основной вклад в загрязнение природных вод этими химическими веществами вносят стоки животноводства и смывы с сельскохозяйственных угодий и нарушенных территорий. Роль промышленности и жилищно-коммунального хозяйства в поступлении вышеуказанных объемов загрязняющих веществ в Ижевское водохранилище не столь велика, но она постоянно растет в связи с развитием нефтедобычи в водосборе реки Иж, а также по мере расширения площадей селитебных территорий, занимаемых коттеджной застройкой в окрестностях г. Ижевска. При этом организованный сброс промышленных сточных вод непосредственно в Ижевский пруд осуществляют только ТЭЦ-1 г. Ижевска и ОАО «Аксион-холдинг», стоки этих городских предприятий характеризуются как «условно чистые». В то же время на локальном участке акватории в правобережье нижнего плеса водохранилища, куда впадает сбросной канал подогретых вод ТЭЦ-1, устойчиво превышен температурный фон на 8–10 °С, что можно рассматривать как проявление теплового загрязнения.

Согласно расчетным показателям модуля твердого стока реки Иж, в Ижевское водохранилище в течение года в среднем поступает до 59,2 тыс. м³ взвешенных наносов, аккумулирующихся на дне водоема. Общий объем наносов, привнесенных в Ижевский пруд за 240 лет эксплуатации, составляет 7,20–7,85 млн м³, то есть около 10 % от объема пруда. По данным геолого-экологического обследования 1998–99 годов, проведенного ГГП «Волгагеология»

(Отчет..., 1999), мощность донных отложений в акватории пруда изменяется от 0 до 1,2 м, увеличиваясь от берегов к центральной части акватории. Поверхностные слои донных отложений Ижевского водохранилища представлены, главным образом, темноокрашенными илами с остатками детрита, в верховьях местами илы подстилаются торфом, в средней и нижней частях водоема — суглинками и супесями. Донные отложения на большей части акватории водоема загрязнены тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Наиболее интенсивная геохимическая техногенная аномалия на дне Ижевского пруда привязана к району шлакоотвала ОАО «Ижсталь» г. Ижевска, который существует еще с довоенных времен на участке правого берега в нижней части водохранилища. Эта аномалия имеет форму шлейфа, вытянутого в юго-западном направлении вдоль береговой линии, и характеризуется содержанием ряда химических элементов (меди, никеля, хрома, марганца, олова и др.) в донных отложениях, превышающим фоновые концентрации в десятки раз.

Первые комплексные гидробиологические исследования на Ижевском водохранилище были проведены в 1956–64 годах В.В. Варфоломеевым (1967) в сотрудничестве с Ю.К. Поповым, Т.А. Варфоломеевой и Е.А. Полушкиной. В ходе этих работ были подробно изучены основные рыбохозяйственные показатели водоема, оценены параметры роста, питания и размножения основных промысловых видов рыб, а также проанализировано состояние кормовой базы рыб на основе количественных характеристик ключевых таксономических групп фито-, зоопланктона и зообентоса. Позднее изучением рыб и беспозвоночных гидробионтов Ижевского пруда в различных аспектах занимались В.Ю. Захаров (1989, 2001) и Б.Г. Котегов (2001a, 2001b, 2004). На текущий момент наиболее полная сводка о состоянии фауны гидробионтов водохранилища приведена в работе сотрудников Пермского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ» (Истомина и др., 2008), изучавших водоем в течение вегетационного сезона 2006 года. За указанный период исследований в составе фауны зоопланктона было зарегистрировано 33 вида коловраток, 24 вида ветвистоусых ракообразных и 18 видов веслоногих ракообразных. Доминировали в середине лета представители отр. *Daphniiformes*: *Bosmina coregoni* Baird, *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), *Daphnia cucullata* Sars, *D. longispina* O.F. Müller. В целом кладоцеры обеспечивали 70 % всей

численности и 80 % всей биомассы летнего зоопланктона, которая в среднем по водоему составила $5,03 \text{ г/м}^3$. В составе фауны макрозообентоса Ижевского водохранилища было зарегистрировано 70 таксонов донных беспозвоночных животных. Наибольшее видовое богатство отмечено для личинок двукрылых из сем. *Chironomidae* (33 вида и формы), малощетинковые черви представлены 19 видами, моллюски — 7 видами. Общая биомасса макрозообентоса в среднем по водоему составила $23,15 \text{ г/м}^2$, в том числе кормовая биомасса — $9,29 \text{ г/м}^2$, основу которой формировали виды рода *Chironomus*.

По результатам исследований А.М. Истоминой с соавторами (2008), в составе ихтиофауны Ижевского водохранилища зарегистрировано 12 видов рыб, из которых наиболее часто встречаются плотва *Rutilus rutilus* (L.), лещ *Abramis brama* (L.) и речной окунь *Perca fluviatilis* L., формируя более 90 % ихтиомассы, составляющей в среднем по водоему $78,8 \text{ кг/га}$. Достаточно обычны в водохранилище также уклейка *Alburnus alburnus* (L.) и обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernuus* (L.), реже встречаются обыкновенная щука *Esox lucius* L., язь *Leuciscus idus* (L.), налим *Lota lota* L., карп *Cyprinus carpio* L., обыкновенный пескарь *Gobio gobio* (L.), обыкновенный елец *Leuciscus leuciscus* (L.) и усатый голец *Barbatula barbatula* (L.). По литературным данным (Варфоломеев, 1967; Котегов, 2006) и опросным сведениям, отмечались в Ижевском пруду такие виды рыб, как линь *Tinca tinca* (L.), золотой карась *Carassius carassius* (L.), красноперка *Scardinius erythrophthalmus* (L.), густера *Blicca bjoerkna* (L.), вьюн *Misgurnus fossilis* (L.), обыкновенная щиповка *Cobitis taenia* L. и обыкновенная верховка *Leucaspius delineatus* (Heckel).

Последние данные о качественном и количественном составе фитопланктона Ижевского водохранилища были опубликованы Н.А. Ивановой и Л.А. Шариповой (2006) по результатам изучения проб воды в районе городского водозабора в 2002–05 годах. За период исследований ими было идентифицировано более 250 видов и внутривидовых таксонов планктонных водорослей: в том числе 107 представителей отдела *Chlorophyta* и 74 — *Bacillariophyta*. Также было зарегистрировано 32 таксона синезеленых водорослей, среди которых на доминирующие позиции в составе общей численности фитопланктона в разные годы выходили *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk.

и *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom. За счет доминирующих видов цианобактерий максимальные значения общей численности фитопланктона в периоды «цветения» достигали 150 тыс. кл./мл.

Планомерное изучение водных сосудистых растений Ижевского водохранилища было начато в 60–70-х годах XX века Т.А. Варфоломеевой (1976) и продолжено в настоящее время О.А. Капитоновой с соавторами (2004) и Т.В. Лихачевой (2003, 2004), по данным которой в акватории водоема произрастает 31 вид гидрофитов, 12 видов гелофитов и 24 вида гигрогелофитов. Наиболее широко распространены на мелководьях водохранилища формации тростника обыкновенного, рогоза узколистного, кубышки желтой *Nuphar lutea* (L.) Smith и некоторых видов рдестов (блестящего *Potamogeton lucens* L., пронзеннолистного *P. perfoliatus* L., гребенчатого *P. pectinatus* L.). Максимальные площади зарастания акватории водной и прибрежно-водной растительностью (до 50 %) характерны для верхнего плеса Ижевского пруда, значительные площади сплавин имеются также южнее Юровского мыса в правобережье среднего плеса.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2010 год

В течение вегетационного сезона 2010 года с мая по сентябрь с периодичностью один раз в месяц отбирались пробы в поверхностных слоях воды по всей акватории водоема — на семи прибрежных и пяти русловых участках Ижевского водохранилища, а также на приустьевых участках основных притоков (реки Иж, Люк, Пазелинка и Подборенка) и в реке Иж на выпуске из водохранилища в нижнем бьефе (только с мая по июль). На водохранилище взятие проб было осуществлено с использованием плавсредства — моторного катера, в реках пробы были взяты с берега. Расположение мест отбора проб приведено на карте-схеме в прил. 1:

- 1) прибрежные пункты, в т. ч.:
 - 1п* — возле устья реки Подборенки;
 - 2п* — возле устья сбросного канала ТЭЦ-1;
 - 3п* — возле устья реки Малиновки;
 - 4п* — правобережье напротив с/о «Трудовая пчела»;
 - 5п* — левобережье напротив д/л «Волна»;
 - 6п* — возле Пазелинского залива;
 - 7п* — возле устья реки Шабердинки;
- 2) русловые пункты, в т. ч.:
 - 1р* — приплотинный участок;
 - 2р* — напротив ПКиО им. Кирова;
 - 3р* — напротив городского водозабора;
 - 4р* — южнее Юровского мыса;
 - 5р* — середина верхнего плеса.

Всего было отобрано 83 пробы воды для последующего химического анализа в двух аккредитованных лабораториях АУ «Управление Минприроды УР» по 19 физико-химическим показателям в соответствии с методиками, внесенными в Государственный реестр методик количественного химического анализа, допущенных для целей государственного экологического контроля. Было определено содержание в воде таких элементов и соединений, как ионы аммония, нитраты, нитриты, общий фосфор, фосфаты, сульфаты, хлориды, железо общее, марганец, медь, кальций, кислород растворенный, нефтепродукты, взвешенные вещества, сухой остаток, а также оценены значения ряда других показателей: прозрачность, цветность, БПК_{полн} и ХПК. Кроме того, непосредственно

в полевых условиях портативными измерительными тест-приборами на каждом участке измерялись температура поверхностного слоя воды и водородный показатель pH.

Параллельно с отбором проб воды на химический анализ на тех же 12 участках Ижевского пруда производился отбор гидробиологических проб фито- и зоопланктона. Периодичность отбора проб — один раз в месяц с мая по сентябрь, время взятия проб — первая половина дня с 10 до 13 часов. Всего было отобрано по 60 проб фито- и зоопланктона.

Отбор проб фитопланктона для количественного анализа производился методом зачерпывания стандартного объема воды (0,5 л) в поверхностном слое водоема глубиной 0–0,2 м (Кондакова, Домрачева, 2007). Пробы помещались в этикетированные стеклянные емкости и фиксировались раствором Люголя до слабо-желтого оттенка. Сгущение проб производилось седиментационным методом в течение 10 суток, после чего получали сгущенные пробы объемом 0,03 л, которые и использовали для дальнейшего анализа (Водоросли..., 1989). Определение таксономической принадлежности организмов фитопланктона, представленных в сгущенных пробах, производилось в лаборатории кафедры общей экологии УдГУ с использованием светового монокулярного микроскопа «Микромед Р-1» по соответствующим руководствам-определителям (Голлербах и др., 1953; Киселев, 1954; Матвиенко, 1954; Попова, 1955; Дедусенко-Щеголева и др., 1959; Ettl, 1983; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b; Ettl, Gärtner, 1988; Komárek, Anagnostidis, 1989, 1998, 2005).

Для подсчета численности клеток фитопланктона использовали счетную камеру Нажотта объемом 0,02 мл. При этом производились повторные подсчеты не менее чем в трех каплях из одной и той же сгущенной пробы. Расчет численности каждого из идентифицированных видов (таксонов) фитопланктона проводился по формуле:

$$N_i = k * n_i * (A/a) * (v/V),$$

где N_i — количество клеток водорослей i -го вида в 1 мл воды исследуемого водоема; k — коэффициент, показывающий, во сколько раз объем счетной камеры меньше 1 мл; n — общее количество клеток i -го вида водорослей, обнаруженных на просмотренных дорожках счетной камеры; A — общее количество дорожек в счетной камере; a — количество дорожек, на которых производил-

ся подсчет клеток водорослей; v — объем сгущенной пробы (л); V — первоначальный объем отобранной пробы (л). Расчет биомассы планктонных водорослей производился счетно-объемным методом с помощью аппроксимации формы их клеток с геометрическими фигурами, принимая среднюю удельную плотность клетки за 1 г/мл (Морозова-Водяницкая, 1954; Сеничкина, 1978; Нестерова, Василенко, 1986).

Сбор проб зоопланктона проводился стандартными методами (Методические рекомендации..., 1982; Руководство..., 1992). Пробы отбирались в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища путем пропускания 100 л воды через малую планктонную сеть Джеди. После этого пробы зоопланктона фиксировались 5-процентным раствором формальдегида и помещались в этикетированные склянки. Дальнейшая обработка собранного гидробиологического материала проводилась в лаборатории УдГУ. Таксономическая идентификация организмов микро- и мезозоопланктона производилась в серии временных препаратов с использованием световых микроскопов «МБС-2», «Микромед-1» и стандартных определителей (Определитель..., 1977; Определитель..., 1994, 1995).

Подсчет численности организмов, принадлежащих к отдельным видам (таксонам) зоопланктона, производили в выборках одинакового объема по 2 мл, троекратно взятых из каждой собранной пробы и помещенных в счетную камеру Богорова. Среди протозойного планктона оценивалась численность только у инфузорий и саркодовых простейших. Индивидуальную массу метазойных планктонных организмов рассчитывали по общепринятым регрессионным уравнениям на основе измерений их линейных размеров, проведенных при помощи окуляра-микрометра под световым микроскопом. Суммарную численность (биомассу) организмов каждого вида зоопланктона в пробе рассчитывали по формуле:

$$N_i = (V * n_i) / (v * k),$$

где N_i — численность (биомасса) организмов i -го вида в пробе (экз. (мг)); V — объем пробы (мл); n_i — численность (биомасса) организмов i -го вида в сумме выборок, взятых из пробы (экз. (мг)); v — объем единичной выборки (мл); k — число повторностей (количество исследованных выборок). Полученные значения численности и биомассы организмов зоопланктона пересчитывали на 1 м³ воды.

Статистическая обработка полученных количественных результатов произведена общепринятыми методами математической статистики с использованием программного обеспечения «MS Excel». Корреляционный анализ данных, полученных по 12 участкам Ижевского водохранилища, осуществлен с помощью расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена R_s (Лакин, 1990).

2011 год

В феврале, мае, июле, августе и октябре 2011 года были взяты пробы воды в поверхностных слоях Ижевского водохранилища на тех же 12 участках, что и в 2010 году (прил. 1). Всего было отобрано 60 проб воды для последующего химического анализа в лаборатории физико-химических исследований АУ «Управление Минприроды УР» на содержание тех же ингредиентов, что и в предыдущем году, по аттестованным методикам.

Параллельно с отбором проб воды на химический анализ на семи из 12 участков водохранилища, расположенных в мелководной прибрежной зоне, производился отбор проб донных отложений, а также сбор фитопланктона и водных макрофитов. Всего с февраля по октябрь было отобрано 34 пробы поверхностных донных отложений с глубины 1–2 м: в зимний период — трубчатым дночерпателем диаметром 80 мм со льда с использованием ледобура, в остальные сезоны — ручным ковшом с ручкой длиной 2 м с использованием плавсредства. Пробы донных отложений проанализированы в центральной экоаналитической лаборатории РЦ ГЭКМ ОХУХО УР АУ «Минприроды УР» на содержание девяти химических элементов (медь, никель, мышьяк, хром, цинк, кобальт, свинец, стронций, титан), а также оксидов железа (III) и марганца (II) рентгено-флуоресцентным способом. Кроме того, определено содержание нитратного азота (ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.67-10) и общего фосфора (МВИ 031-03-183-05) в вытяжках из донных отложений с использованием фотоколориметра. Для оценки суммарного содержания фосфора в поверхностном слое донных отложений толщиной 5 см использовались средние значения плотности: 850 кг/м^3 — для илистых отложений, 1650 кг/м^3 — для песчаных отложений (Михайлов и др., 2007).

Отбор проб фитопланктона был произведен с поверхности на 7 прибрежных участках Ижевского водохранилища в мае, июле, августе и октябре 2011 года одновременно с отбором проб воды на

химический анализ. Первичная обработка и количественный анализ проб планктонных водорослей проведены по той же методике, что и в предыдущем году. Количественные данные по содержанию фосфора в сухой биомассе фитопланктона взяты из публикации А.Ф. Алимова (2000) и составляют в среднем 0,4 %, при пересчете их на сырую биомассу принято во внимание среднее содержание воды в пелагических гидробионтах, составляющее около 80 % (Добровольский, 2006).

Изучение таксономического состава и количественных параметров водных макрофитов проводилось стандартными методами гидрботанических исследований (Катанская, 1981; Лисицына, Папченков, 2000; Методы..., 2004) на семи прибрежных участках Ижевского пруда три раза за вегетационный сезон 2011 года: в начале июля, в конце августа и в начале октября. Для отбора биомассы водных и прибрежно-водных растений использовался квадрат из нерастягивающейся веревки со стороной 50 см. Данным квадратом по поверхности воды ограничивалась площадка 0,25 м² в пределах изучаемой растительной ассоциации водных макрофитов. Все воздушно-водные растения (гелофиты) внутри площадок срезались ножом у дна, укореняющиеся гидрофиты с плавающими или погруженными в воду листьями вырывались руками, неукореняющиеся гидрофиты собирались целиком. Части водных растений, выходящие за пределы площадки, ограниченной веревочным квадратом, обрезались и не учитывались в составе укоса фитомассы. Собранные укосы транспортировались в полиэтиленовых пакетах в лабораторию кафедры общей экологии УдГУ, где высушивались на воздухе в тени в течение нескольких дней. Воздушно-сухая биомасса каждого укоса была определена с использованием электронных весов с точностью до 1 г и пересчитана на 1 м². При пересчете воздушно-сухой биомассы водных макрофитов на массу фосфора, содержащегося в ней, использовался коэффициент 0,003 (Власов, Гигевич, 2002).

2012 год

В течение вегетационного сезона 2012 года в мае, июле, сентябре и октябре были отобраны пробы воды, донных отложений, фитопланктона и макрозообентоса на семи участках Ижевского водохранилища, расположенных в верхнем плесе и Юровском заливе (прил. 2):

- 1) мелководные пункты в правобережье, в т. ч.:
 $n1$ — устье реки Шабердинки;
 $n2$ — у северного основания Юровского мыса ниже пристани;
 $n3$ — у южного основания Юровского мыса в заливе;
 $n4$ — напротив с/о «Трудовая пчела»;
- 2) русловые глубоководные пункты, в т. ч.:
 $p1$ — напротив Пазелинского залива (глубина 4 м);
 $p2$ — напротив урочища «Сухой ельник» (глубина 5 м);
 $p3$ — середина второго плеса водохранилища (глубина 6 м).

Всего за сезон отобрано 28 проб воды из поверхностного слоя водоема для последующего химического анализа в аккредитованной лаборатории АУ «Управление Минприроды УР» по 19 физико-химическим показателям в соответствии с методиками, внесенными в Государственный реестр методик количественного химического анализа, допущенных для целей государственного экологического контроля.

Параллельно с отбором проб воды на тех же участках производился отбор проб донных отложений на химический анализ с помощью автоматического коробчатого дночерпателя ДАК-100 (1/100 м²) на тресе: всего 28 проб. Пробы донных отложений проанализированы в той же лаборатории на содержание тяжелых металлов (М-МВИ-80-2008), азота нитратов (ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.67-10) и кислоторастворимых фосфат-ионов (ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.52-08).

Отбор проб фитопланктона для количественного анализа производился в те же дни, что и отбор проб воды: на прибрежных участках — методом зачерпывания стандартного объема воды (0,5 л) открытой пластиковой емкостью из поверхностного 20-сантиметрового слоя водоема, а на русловых участках — металлическим батометром Паталаса объемом 1 л из придонных слоев водоема с глубины 4–6 м. Первичная обработка и количественный анализ проб планктонных водорослей проведены по той же методике, что и в предыдущие годы. Относительный прирост численности синезеленых водорослей за период времени $\Delta T = T_2 - T_1$ рассчитывался как отношение зарегистрированных значений их численности N в конце и в начале рассматриваемого периода:

$$B = N_{T_2} / N_{T_1}.$$

Отбор проб макрозообентоса производился совместно с отбором проб донных отложений с лодки с помощью дночерпателя ДАК-100 (1/100 м²) на тросе трехкратным зачерпыванием донного грунта на каждом из семи участков (Методические рекомендации..., 1984). Отобранные со дна водоема мягкие фракции отложений промывали через сито с размером ячеек 200–220 мкм. Организмы беспозвоночных животных выбирались из донного грунта сразу, помещались в герметичную посуду и фиксировались 70-процентным раствором этилового спирта. Идентификация таксонов водных беспозвоночных животных проводилась согласно таксономическим ключам (Определитель..., 1977, 1994, 1995, 1997, 1999, 2001, 2004) в лабораторных условиях с помощью микроскопов МБС-9 и «Микромед-1» (XS-810).

Численность организмов макрозообентоса оценивалась их прямым подсчетом в каждой пробе и пересчитывалась в показателях плотности — экз./м². Биомасса организмов, принадлежащих к разным таксонам макрозообентоса, определялась взвешиванием на торсионных весах ВТ-500 (крупные организмы взвешивались на технических весах) с точностью до 0,01 г после обсушивания на фильтровальной бумаге до исчезновения мокрых пятен. Общая биомасса донных животных оценивалась в г/м², доля различных таксонов в общей биомассе макрозообентоса — в процентах для каждой пробы.

Статистическая обработка полученных количественных результатов произведена общепринятыми методами математической статистики с использованием программного обеспечения «MS Excel» и «Statistica». Корреляционный анализ данных осуществлен с помощью расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена R_s (Лакин, 1990).

Данные по сезонному распределению количества осадков, выпавших в Ижевске в разные годы, были взяты из информационных выпусков Государственного доклада «О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики», ежегодноготавливаемых и издаваемых Минприроды УР. Данные по суточному распределению количества осадков, выпавших в Ижевске летом-осенью 2012 года, взяты из базы данных электронного сайта www.pogoda.ru.net.

Для выявления участков Ижевского водохранилища, наиболее подверженных загрязнению легко разлагаемыми органи-

ческими соединениями и биогенными элементами, использован метод интегральной оценки их состояния с предварительным переводом реальных значений индикаторных химических и биологических показателей загрязнения этих участков в значения универсальной числовой шкалы в диапазоне от 0 до 1 посредством расчета частных аналитических функций желательности (Адлер и др., 1976; Воробейчик и др., 1994) по следующей формуле:

$$F_i = y_i / y_{max},$$

где y_i — значение индикаторного показателя на i -м из сравниваемых участков, y_{max} — максимальное (наименее желательное из имеющихся) значение индикаторного показателя на сравниваемых участках Ижевского водохранилища.

Интегральная оценка уровня органического и биогенного загрязнения на i -м участке по комплексу k индикаторных показателей, преобразованных в частные функции желательности F , производилась путем расчета интегральной функции желательности D , как их средней геометрической: $D = (\prod(F_k))^{1/k}$. Чем ближе значение D к 1, тем выше уровень загрязнения участка.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2010 ГОДУ

4.1. Сезонная динамика основных физико-химических показателей в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища

По результатам исследований, проведенных в течение вегетационного сезона 2010 года, в поверхностных слоях воды всех изученных участков Ижевского водохранилища с весны до осени наблюдалось превышение санитарно-гигиенических нормативов для водоемов хозяйственно-питьевого назначения по таким физико-химическим показателям, как цветность, прозрачность и ХПК (прил. 3.1–3.5). Максимальные значения показателя ХПК (3,9 ПДК) отмечены в сентябре в приплотинной части водоема в прибрежных пунктах *1п* (устье реки Подборенки) и *2п* (выход теплых сбросов с ТЭЦ-1). Превышение ПДК по показателю БПК_{полн} в мае было зарегистрировано на четырех из 12 участков водохранилища, в июне — на 11 из 12 участков, в июле-сентябре — на всей акватории Ижевского пруда. Максимальные значения БПК (2,7 ПДК) отмечены в водоеме в июле в прибрежном пункте *4п* (правобережный участок среднего плеса). Содержание ионов аммония было немного выше ПДК (в 1,1–1,2 раза) на участках верхнего плеса водохранилища в мае и в июле. Максимальные концентрации общего железа (до 4,2 ПДК) наблюдались в поверхностных слоях воды Ижевского пруда в мае, ионов марганца (до 13,9 ПДК) — в мае и в июле, ионов меди (до 7,1 ПДК) — в июле.

Анализ сезонной динамики физико-химических показателей качества воды Ижевского водохранилища позволил разделить все наиболее значимые в аспекте эвтрофирования водоема гидрохимические параметры на четыре группы.

Группа I — химические соединения, содержание растворенных форм которых в водохранилище наиболее высоко в весенний период и заметно снижается летние месяцы. Сюда относятся, в первую очередь, нитраты, а также наиболее распространенные в природных экосистемах водосборной территории переходные металлы — железо и марганец (рис. 1).

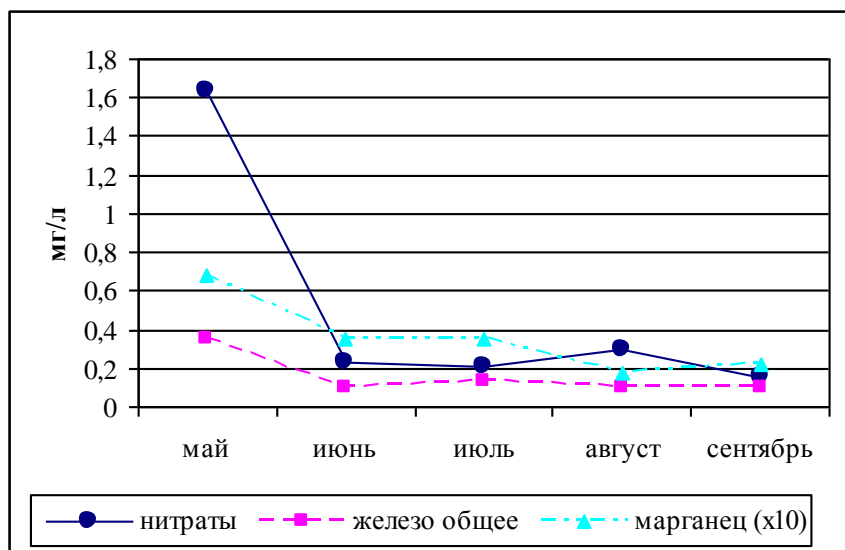


Рис. 1. Сезонная динамика среднего содержания нитратов, общего железа и ионов марганца (умножено в 10 раз) в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища в 2010 году

Мы полагаем, что высокое содержание нитратов в поверхностных слоях воды Ижевского пруда в конце весны, в первую очередь, было обусловлено их поступлением в больших количествах с территории водосбора в период снеготаяния и половодья в основном через реки-притоки. В летний период большая часть нитратов могла включиться в состав биомассы водных продуцентов водохранилища, а также частично уйти из водоема через сброс в нижний бьеф и водозаборные сооружения, вследствие чего их концентрация заметно снизилась. Для восстановленных форм железа и марганца, по-видимому, не менее важный путь их поступления в пелагиаль водохранилища — высвобождение из донных отложений в конце зимы в условиях дефицита кислорода (Хатчинсон, 1969). Наоборот, летом при насыщении воды кислородом, выделяющимся в процессе фотосинтеза водных растений и поступающим из атмосферы, окисленные соединения железа и марганца могут осаждаться в придонные слои и донные отложения водоема.

Группа II — химические соединения, содержание растворенных форм которых в Ижевском водохранилище в течение вегетационного сезона было подвержено периодическим флуктуациям.

Это, в первую очередь, биогенные неорганические соединения, которые могли высвободиться в толщу воды в результате минерализации органических веществ, накопленных в донных отложениях, и поступать с водосбора как с талыми и дождевыми водами, так и в составе организованных сбросов неочищенных сточных вод коммунально-бытового и сельскохозяйственного происхождения. Среди них наиболее значимыми для инициации процессов «цветения» водоема, в частности, как стимуляторы роста и размножения синезеленых водорослей, по нашему мнению, являются ионы ортофосфатов и аммония (рис. 2).

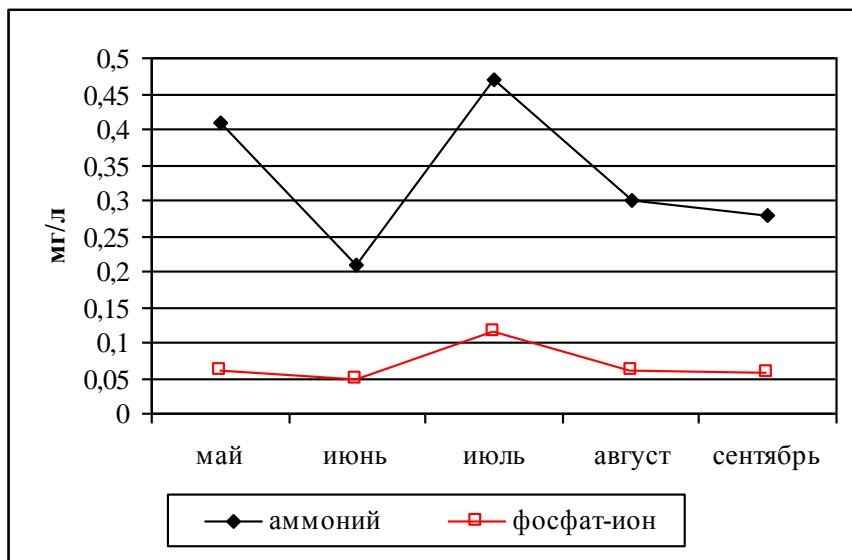


Рис. 2. Сезонная динамика среднего содержания ионов аммония и растворенных фосфатов в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища в 2010 году

В отношении этих растворенных форм азота и фосфора можно выделить два пика повышения их концентраций в поверхностных слоях воды в течение вегетационного сезона 2010 года. Первый пик пришелся на весну и мог быть связан с температурной активацией весеннего разложения растительных остатков, накопленных на мелководьях Ижевского водохранилища еще с осени, а также принесенных с водосбора в апреле в составе талых вод с речным стоком и береговым смывом. В июне большая часть фосфатов и аммония, окисленного до нитритов и нитратов, по-

видимому, была использована водными продуцентами, включившись в состав их фитомассы, а затем по пищевым цепям и в состав зоомассы водоема, что привело к снижению содержания этих ионов в поверхностных слоях воды.

Второй, июльский, пик 2010 года был выражен только на участках верхнего плеса Ижевского пруда, где проявился в значительном повышении концентраций аммония и фосфатов, достигших своего сезонного максимума. На мелководных верхних участках водоема дополнительные количества растворенных соединений азота и фосфора могли появиться в результате усиления процессов высвобождения восстановленных форм химических элементов из иловых отложений в условиях значительного прогрева воды в середине экстремально жаркого лета и дефицита кислорода, содержание которого в июле здесь снизилось в 1,5–2 раза (прил. 3.3). Возможно, этому поспособствовало также массовое размножение организмов зоопланктона в рассматриваемой части водохранилища в середине лета, которое могло сопровождаться активным потреблением планктонными животными растворенного кислорода на дыхание и выделением в толщу воды продуктов экскреции, содержащих биогенные элементы (Гутельмахер, 1986). При этом в поверхностных слоях воды среднего и нижнего плесов Ижевского водохранилища аналогичного заметного повышения концентраций фосфатов и аммония в июле отмечено не было. Вероятно, это связано с отсутствием в нижней части водоема значительных площадей прогреваемых мелководий, содержащих на дне высокие концентрации легкоразлагаемых органических веществ. В то же время большие запасы биогенных илов здесь накоплены на глубоководных русловых участках, где во второй половине лета 2010 года нами были выявлены существенные различия по гидрохимическим параметрам между поверхностными и придонными слоями воды.

Так, сравнивая наши результаты с количественными данными, предоставленными Центром аналитического контроля вод МУП «Ижводоканал», можно отметить, что в придонных слоях воды глубиной более 4 м на участке между средним и нижним плесами водохранилища (в районе городского водозабора), концентрации фосфатов, аммония, а также железа и марганца в июле и особенно в августе были существенно выше, чем в поверхностных слоях воды в пунктах 3р и 5п, расположенных ближе всего к месту водозабора (рис. 3, 4). Различия поверхностных и придонных слоев

водохранилища по содержанию химических соединений, участвующих в окислительно-восстановительных процессах, по-видимому, были обусловлены во второй половине лета 2010 года наличием окислина, вызванного устойчивой температурной стратификацией пелагиали в нижней части водоема во время аномально жаркого и маловодного июля и начала августа. Эта стратификация сопровождалась летним дефицитом кислорода в придонных слоях пруда и преобладанием на дне восстановительных химических процессов с выделением из донных отложений низковалентных подвижных форм железа и марганца, накоплением аммония, а также растворенных фосфатов.

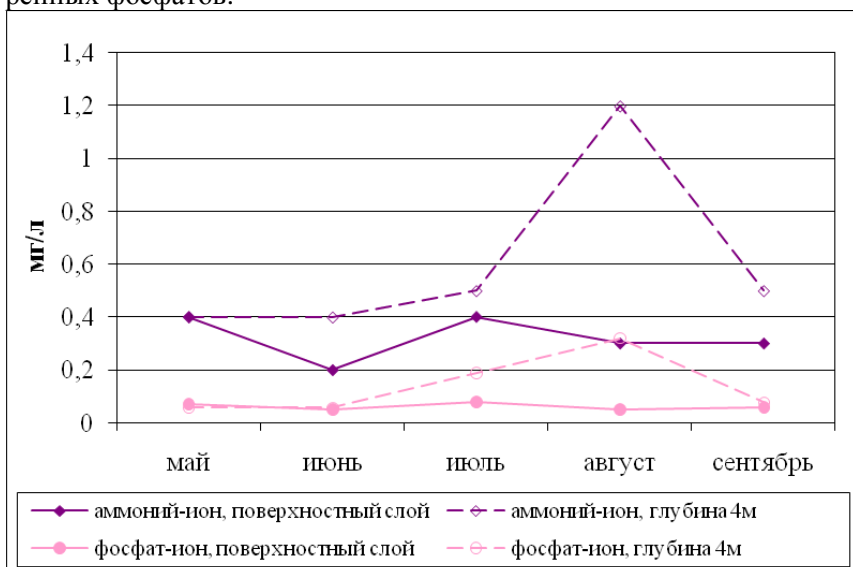


Рис. 3. Сезонная динамика среднего содержания аммония и фосфатов в поверхностных слоях (наши данные) и глубинных слоях (данные МУП «Ижводоканал») Ижевского водохранилища в районе городского водозабора в 2010 году

Действительно, в июле-августе 2010 года содержание кислорода в придонных слоях Ижевского пруда на участке, где осуществляется водозабор для городских нужд, было в среднем в два раза ниже, чем у поверхности (рис. 5). Косвенным подтверждением наличия летних заморных явлений на глубинах Ижевского водохранилища могли служить зарегистрированные нами в июле 2010 года в районе устья реки Малиновки, на правом берегу напротив

городского водозабора мертвые экземпляры рыб, принадлежащие к придонной экотопической группе видов ихтиофауны, обитающих у дна и характеризующихся слабой миграционной активностью: ерш обыкновенный *Gymnocephalus cernuus* (L.) и окунь речной *Perca fluviatilis* L. По опросным сведениям, в левобережье в районе городского водозабора в августе также отмечался запах сероводорода, который мог быть одним из последствий активизации восстановительных химических процессов в водоеме.

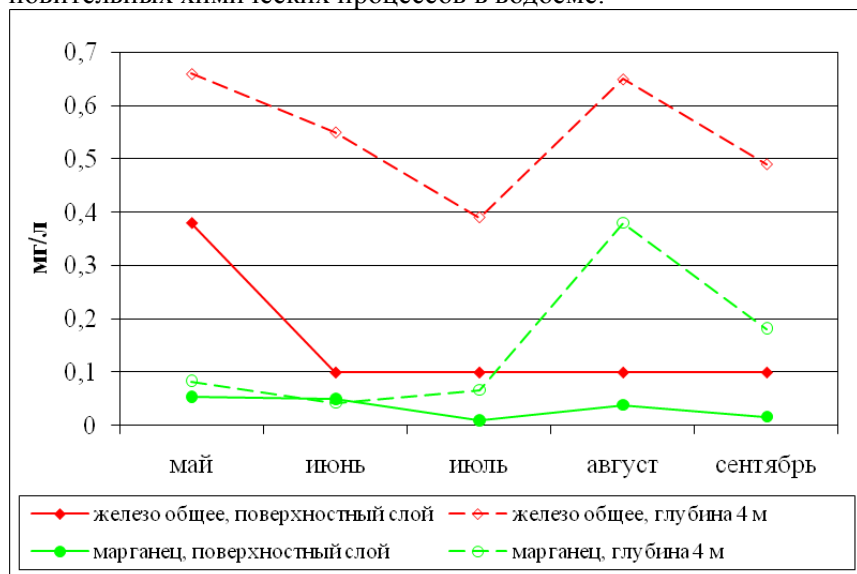


Рис. 4. Сезонная динамика среднего содержания общего железа и ионов марганца в поверхностных слоях (наши данные) и глубинных слоях (данные МУП «Ижводоканал») Ижевского водохранилища в районе городского водозабора в 2010 году

В то же время показатель БПК в поверхностных слоях рассматриваемого участка Ижевского водохранилища был в среднем в 1,2–1,5 раза выше, чем в придонных, в течение всего лета (рис. 5). Это может свидетельствовать о наибольшей значимости верхних слоев воды в отношении образования первичной и вторичной биологической продукции водоема, связанной с развитием организмов фито- и зоопланктона, которые выделяют различные органические метаболиты в процессе своей жизнедеятельности и разлагаются сами после отмирания, тем самым загрязняя водную среду органи-

ческими соединениями, которые определяют величину БПК в водоеме в летний период.

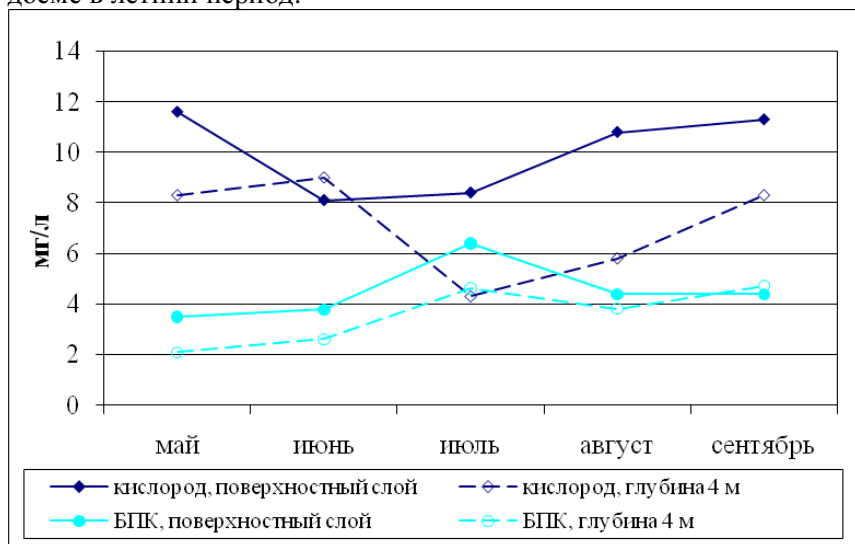


Рис. 5. Сезонная динамика среднего содержания растворенного кислорода и средних значений показателя БПК в поверхностных слоях (наши данные) и глубинных слоях (данные МУП «Ижводоканал») Ижевского водохранилища в районе городского водозабора в 2010 году

Содержание растворенного кислорода и показатель БПК можно отнести к *группе III* химических показателей, динамика которых в поверхностных слоях Ижевского водохранилища с конца весны до середины осени обусловлена главным образом динамикой развития организмов фито- и зоопланктона. Максимальные значения показателя БПК, как и минимальные значения содержания растворенного кислорода, отмечаются один раз в середине вегетационного сезона (рис. 6). В 2010 году пик значений показателя БПК наблюдался в июле, когда были зарегистрированы максимальные количественные показатели зоопланктона и летняя вспышка численности синезеленых водорослей. При этом для середины лета отмечена высокая и статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ положительная корреляция показателей БПК и ХПК на 12 участках водохранилища ($R_S = 0,80$), а показатель ХПК, в свою очередь, был статистически значимо связан с общей биомассой зоопланктона ($R_S = -0,66$) и общей численностью планктонных цианопрокариот ($R_S = 0,58$). Учитывая различия знаков у двух последних значений

коэффициентов ранговой корреляции, можно предположить, что зоопланктонные организмы вносят свой вклад в увеличение значений показателей БПК и ХПК в толще воды Ижевского пруда преимущественно посредством своего отмирания, в результате чего их биомасса уменьшается, а количество взвешенных и отчасти растворенных органических веществ, наоборот, увеличивается. В свою очередь, органическая взвесь (триптон) сама по себе является пищей для ряда трофических групп зоопланктона (Чуйков, 1981; Монаков, 1998; Казанцева, 2003), которые наращивают свою биомассу, выедавая ее и тем самым способствуя уменьшению показателей БПК и ХПК.

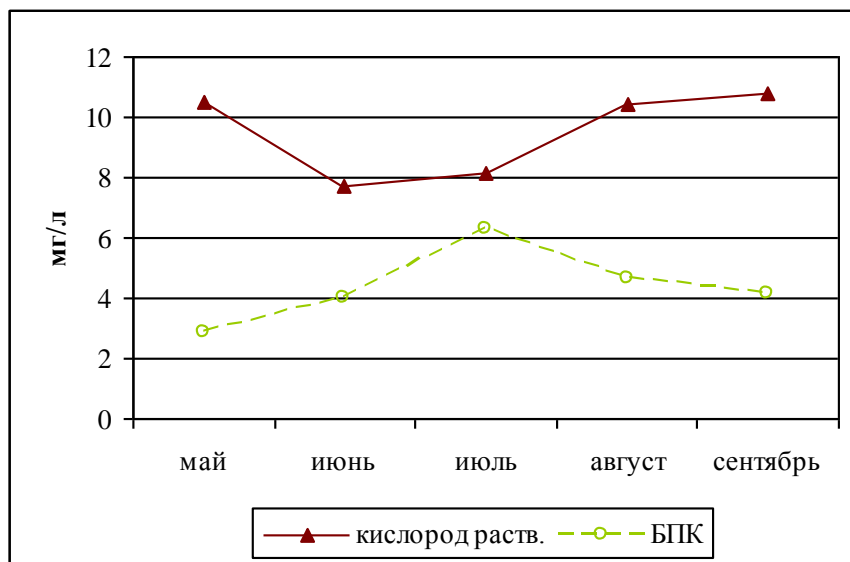


Рис. 6. Сезонная динамика среднего содержания растворенного кислорода и средних значений показателя БПК в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища

В то же время планктонные синезеленые водоросли во время летнего наращивания своей численности и биомассы влияют на показатели БПК и ХПК в большей степени положительно: посредством активного выделения живыми клетками растворенных органических веществ (РОВ), которые являются так называемой внеклеточной первичной продукцией (Бульон и др., 1999). Различные компоненты РОВ, с одной стороны, могут стимулировать развитие бактериального и протозойного планктона (Копылов и др., 2007),

с другой — в качестве альготоксинов угнетать жизнедеятельность других планктонных организмов (Гутельмахер, 1986), способствуя их отмиранию и, как следствие, повышению БПК и ХПК в пелагиали водоема.

Снижение средних значений содержания растворенного кислорода в поверхностных слоях Ижевского водохранилища наблюдалось в июне-июле, что, по нашим данным, могло быть связано, в первую очередь, с массовым развитием зоопланктона в это время года. Так, значения коэффициентов R_s ранговой корреляции между содержанием растворенного кислорода и общей численностью зоопланктона составляли $-0,61$ в июне и $-0,86$ в июле, что характеризует отрицательную связь этих показателей как статистически значимую на уровне $\alpha = 0,05$. На тех участках водоема, где была отмечена наибольшая численность и биомасса организмов зоопланктона, наблюдались наименьшие значения содержания растворенного кислорода, что может отражать его повышенные траты на дыхание планктонных консументов (Крючкова, 1989).

В июле в водоеме была отмечена достоверная ($\alpha = 0,05$) положительная корреляция содержания растворенного кислорода и численности синезеленых водорослей ($R_s = 0,70$), что свидетельствует о значимой роли процесса фотосинтеза этой группы автотрофных прокариот в насыщении кислородом поверхностных слоев воды в период их массового развития. Кроме того, активный фотосинтез цианобактерий и других групп фитопланктона в пресных водоемах часто приводит к подщелачиванию поверхностных слоев воды за счет удаления из нее углекислоты (Сигарева, 1980; Константинов, 1986; Минеева, 2009), что проявилось в Ижевском водохранилище в статистически значимой ($\alpha = 0,05$) положительной корреляции значений численности синезеленых водорослей и показателя pH в мае ($R_s = 0,61$), июле ($R_s = 0,74$) и августе ($R_s = 0,61$). В свою очередь, подщелачивание водной среды до значений $\text{pH} = 9,0\text{--}9,5$ само по себе благоприятствует развитию в водоемах наиболее алкалофильных групп фитопланктона, к которым относятся, в первую очередь, многие массовые виды цианопрокариот (Судницына, 2005). Наличие такой положительной обратной связи могло способствовать быстрому наращиванию численности синезеленых водорослей к середине лета на фоне постепенного угнетения других групп фитопланктона.

Группа IV включает в себя те физико-химические показатели воды, максимальные значения которых в Ижевском водохранилище зарегистрированы в конце вегетационного сезона (сентябре) и связаны с отмиранием в водоеме биомассы не только планктонных организмов, но и макрофитов, а также с поступлением в водохранилище компонентов отмершей наземной растительности с территории водосбора со смывом во время затяжных осенних дождей. Это такие количественные характеристики, как содержание взвешенных веществ, показатель ХПК и отрицательно коррелирующий с ними показатель прозрачности воды (рис. 7).

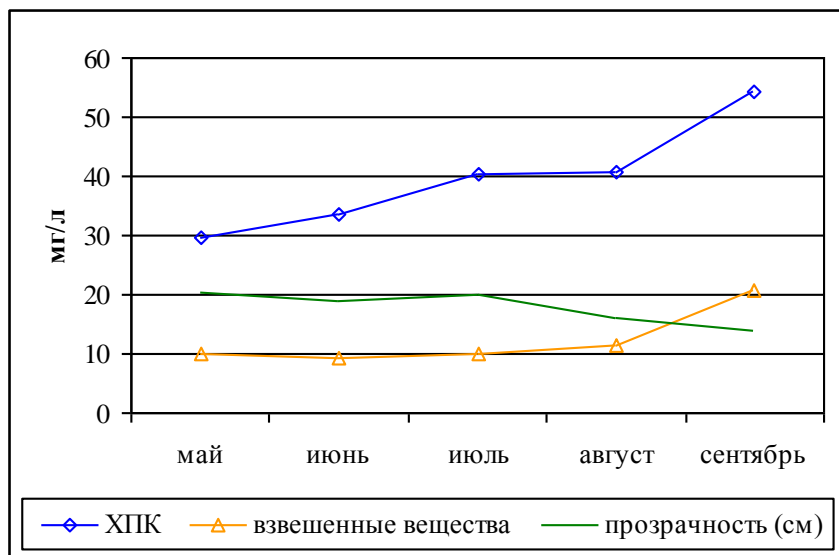


Рис. 7. Сезонная динамика среднего содержания взвешенных веществ, средних значений показателей ХПК и прозрачности в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища

В конце лета — начале осени в воде Ижевского пруда произошло повышение концентрации органических взвесей, в составе которых присутствовали медленно разлагаемые остатки живых организмов (хитиновые скелеты зоопланктона, обрывки тканей водных сосудистых растений и т. п.), что было отмечено визуально при просмотре сгущенных проб воды под световым микроскопом. Отмирание большей части биомассы водных организмов в конце вегетационного сезона, в первую очередь, привело к повышению значений содержания взвешенных веществ и показателя ХПК в по-

верхностных слоях воды, но в то же время слабо повлияло на изменение показателя БПК. Параллельно за счет этого к сентябрю 2010 года в водохранилище значительно увеличилась мутность воды и уменьшилась ее прозрачность, что, по-видимому, создало неблагоприятные условия для фотосинтеза большинства фитопланктонных организмов, за исключением некоторых олигофотных и миксотрофных видов цианопрокариот, таких как *Planktothrix agardhii*, который на фоне избытка растворенных биогенных элементов получил дополнительные конкурентные преимущества и реализовал их в виде второй (осенней) вспышки численности фитопланктона. В свою очередь, массовое размножение этого вида в начале осени само могло стать одной из причин ухудшения гидрооптических условий в Ижевском водохранилище, в частности, уменьшения прозрачности воды, как проявление эффекта самозатенения фитопланктона.

4.2. Сезонная динамика основных количественных показателей фито- и зоопланктона в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища

Результаты оценки численности и биомассы фитопланктона в поверхностных слоях воды на 12 участках Ижевского водохранилища в разные месяцы вегетационного сезона 2010 года (прил. 4.1–4.5, 6.2) позволили выявить следующие особенности сезонной динамики этих количественных показателей планктонных водорослей (рис. 8–10).

В начале мая (через 1–2 недели после окончательного стаивания льда) общая численность фитопланктона в водоеме была относительно невелика и составляла в среднем 10,9 тыс. кл./мл. Доминировал по численности на всех исследованных участках Ижевского водохранилища, кроме пункта 5р (середина верхнего плеса), *P. agardhii*, в качестве численных субдоминантов в планктонных синузиях присутствовали представители колониальных диатомей из родов *Stephanodiscus* Ehr. и *Aulacoseira* Thw. На некоторых прибрежных участках верхнего и среднего плесов водохранилища (пункты 4н, 6н, 7н) также была отмечена повышенная численность синезеленой водоросли *Anabaena lemmermannii* P. Richt. Общая биомасса фитопланктона в мае в среднем по водоему составляла 6,2 мг/л, главным образом — за счет диатомовых водорослей из

рода *Stephanodiscus* (от 50 до 80 % общей биомассы). Суммарная биомасса всех видов синезеленых водорослей на исследованных участках Ижевского водохранилища в этот месяц не превышала 0,2–0,3 мг/л.

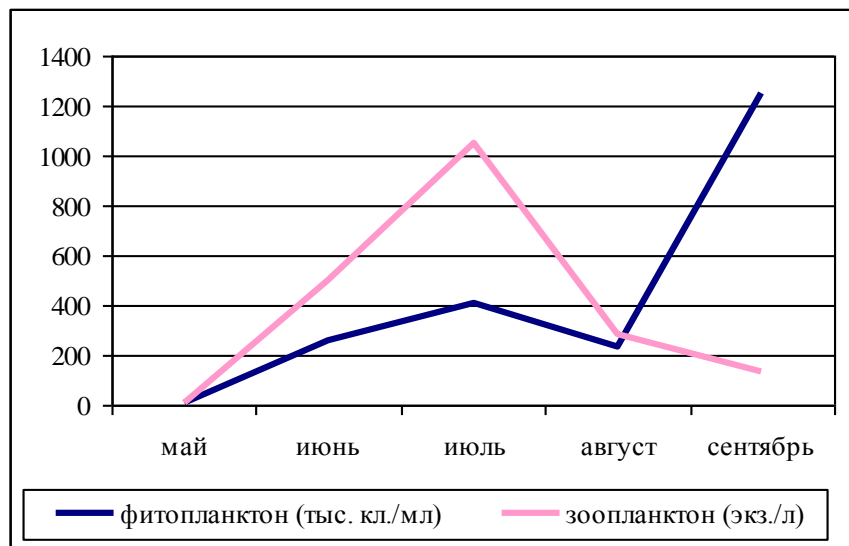


Рис. 8. Сезонная динамика средней численности планктонных организмов в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища в 2010 году

Через месяц в начале июня общая численность фитопланктона в водоеме возросла в 20–30 раз и составила в среднем 257,6 тыс. кл./мл. Основной вклад в повышение численности фитопланктона в начале лета внесли синезеленые водоросли. Помимо наиболее массового по всему Ижевскому водохранилищу *P. agardhii*, это были такие виды цианобактерий, как *A. lemmermannii* (на русловых участках среднего плеса и прибрежных участках в устьях рек Пазелинки и Малиновки), *Anabaena scheremetievii* Elenk. (в приплотинной части водоема), *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. (на прибрежных участках среднего и нижнего плесов) и *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs (на некоторых русловых участках водоема и в Пазелинском заливе). Численность диатомовых водорослей с мая по июнь 2010 года возросла в 3–4 раза, зеленых — в 7–8 раз, эвгленовых — в 5–10 раз. Общая биомасса фитопланктона в июне повысилась в среднем до 22,3 мг/л. В этот месяц на большинстве прибрежных участков Ижевского пруда (пункты 1n, 3n, 4n, 6n) по био-

массе преобладали синезеленые водоросли, на остальных участках водоема — диатомеи (в основном виды из родов *Stephanodiscus* и *Aulacoseira*). Доля *P. agardhii* от общей биомассы фитопланктона достигала в приплотинной части водохранилища 35–37 %.

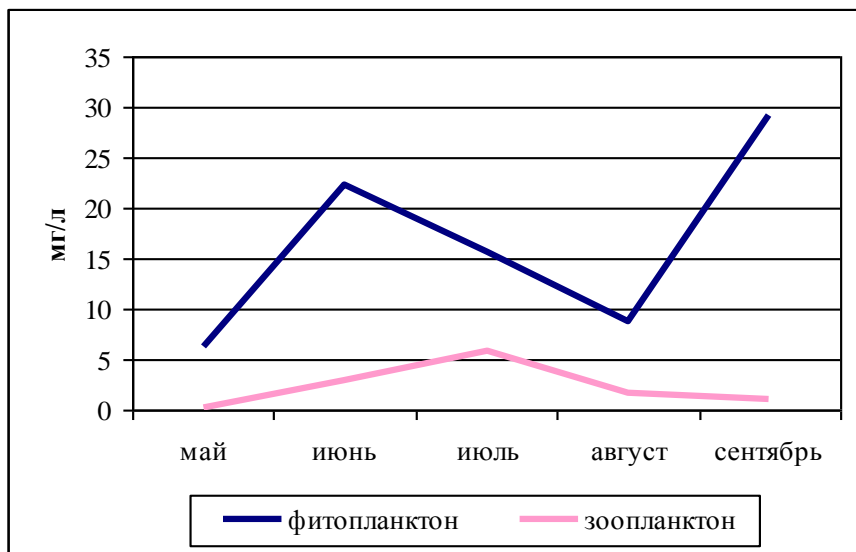


Рис. 9. Сезонная динамика средней биомассы планктонных организмов в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища в 2010 году

В начале июля общая численность фитопланктона в водоеме повысилась еще в 1,6 раза — в среднем до 408,9 тыс. кл./мл, причем более 99 % от общей численности составлял *P. agardhii*. Численность других видов синезеленых водорослей с июня по июль снизилась на всех участках Ижевского водохранилища, за исключением ряда прибрежных участков нижнего плеса, где за этот период несколько возросло обилие *M. aeruginosa* (пункты 1n и 2n) и *A. scheremetievii* (пункт 1n). Также к середине лета существенно уменьшилась численность диатомовых водорослей (за исключением *Nitzschia acicularis* W. Smith в пунктах 3n и 3p) — в среднем в десять раз, зеленых (за исключением *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. в пункте 2n) — в среднем в четыре раза, эвгленовых — в среднем в два раза. За счет выпадения из состава доминирующего комплекса крупноклеточных видов диатомей, массово развивавшихся в мае-июне, общая биомасса фитопланктона Ижевского пруда в июле снизилась до 15,6 мг/л. Доля *P.*

agardhii от общей биомассы фитопланктона в приплотинной части Ижевского водохранилища повысилась в этом месяце до 64–69 %, а в верхнем плесе — до 80–83 %.

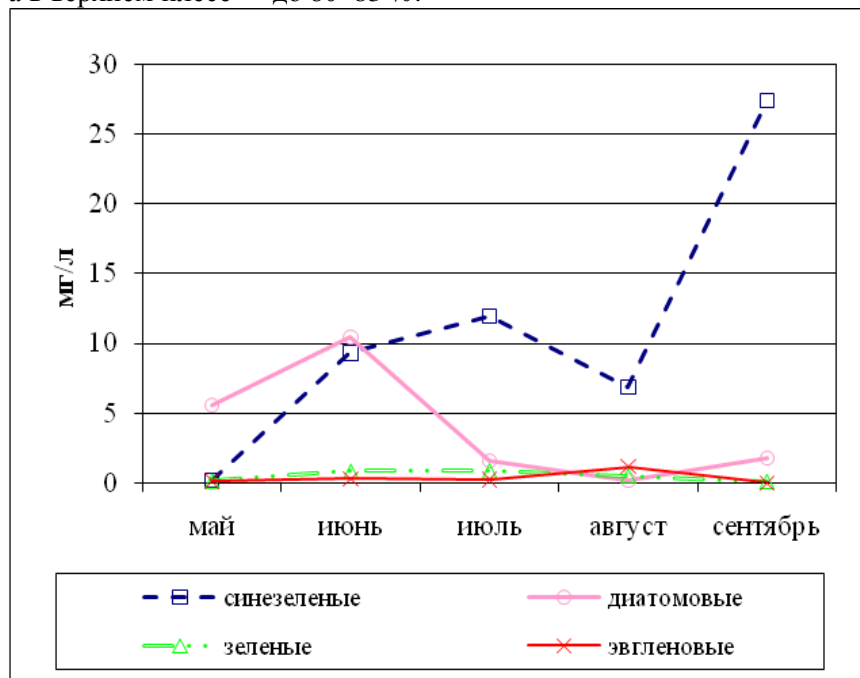


Рис. 10. Сезонная динамика средней биомассы основных таксономических групп фитопланктона в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища в 2010 году

В начале августа общая численность фитопланктона в водоеме снизилась до уровня июньских показателей и составила в среднем 235,2 тыс. кл./мл. По-прежнему более 99 % общей численности приходилось на *P. agardhii*. По сравнению с июлем, на некоторых участках Ижевского водохранилища было отмечено повышение численности *A. lemmermannii* (в пунктах 3р, 5р и 7п) и *S. quadricauda* (в пунктах 1р, 2р, 3п, 4р и 6п). Также с июля по август на всех участках водоема существенно возросла численность эвгленовых водорослей: в среднем и нижнем плесах водоема — в 5–7 раз, в верхнем плесе — до 20 раз. За это же время численность диатомовых водорослей еще несколько снизилась, а численность зеленых водорослей в целом осталась на прежнем уровне. Общая биомасса планктонных водорослей в августе уменьшилась почти в два

раза и составила в среднем 8,7 мг/л. Доля *P. agardhii* от общей биомассы фитопланктона увеличилась в среднем по водоему до 78 %, достигая в пункте 3р напротив городского водозабора 88 %.

В начале сентября в Ижевском водохранилище была зарегистрирована вторая «вспышка» численности *P. agardhii*, количественные показатели которого в пункте 4р достигли 1366,0 тыс. кл./мл, составив в среднем по водоему 1245,1 тыс. кл./мл (99,5–99,9 % от общей численности фитопланктона). По сравнению с августом, несколько возросла численность диатомей, тогда как численность эукариотических водорослей из других таксономических групп заметно снизилась. Общая биомасса планктонных водорослей в сентябре составила в среднем 29,2 мг/л, повысившись по сравнению с августовскими показателями в 3,5 раза за счет *P. agardhii*, массовая доля которого в этом месяце колебалась в пределах 88–98 % от общей биомассы фитопланктона.

Таким образом, в Ижевском водохранилище в летне-осенний период 2010 года наблюдалось «цветение» воды, связанное с массовым развитием одного из видов планктонных цианопрокариот — *Planktothrix agardhii*, являющегося индикатором эвтрофных условий в водоемах (Трифенова, 1990). Этот вид доминировал по численности в составе фитопланктона в течение всего вегетационного сезона, а начиная с июня, преобладал и по биомассе. Другие виды синезеленых водорослей были отмечены на разных участках водохранилища в качестве субдоминантов, вносящих определенный вклад в «цветение» воды лишь в начале и середине лета, с показателями обилия на порядок меньше, чем у *P. agardhii*; в остальное время их численность и биомасса в водоеме была относительно невысока.

Как видно из рис. 11, динамика биомассы синезеленых водорослей на разных участках Ижевского водохранилища в течение вегетационного сезона 2010 года была сходная. Наибольшие показатели численности и биомассы цианопрокариот в мае-июне и в сентябре были зарегистрированы на прибрежных участках среднего и нижнего плесов водоема, в июле-августе — на русловых участках этих же плесов (прил. 6.2). В верхнем плесе значения численности и биомассы данной группы фитопланктона были в среднем на 10 % ниже по сравнению с аналогичными показателями остальной части водохранилища.

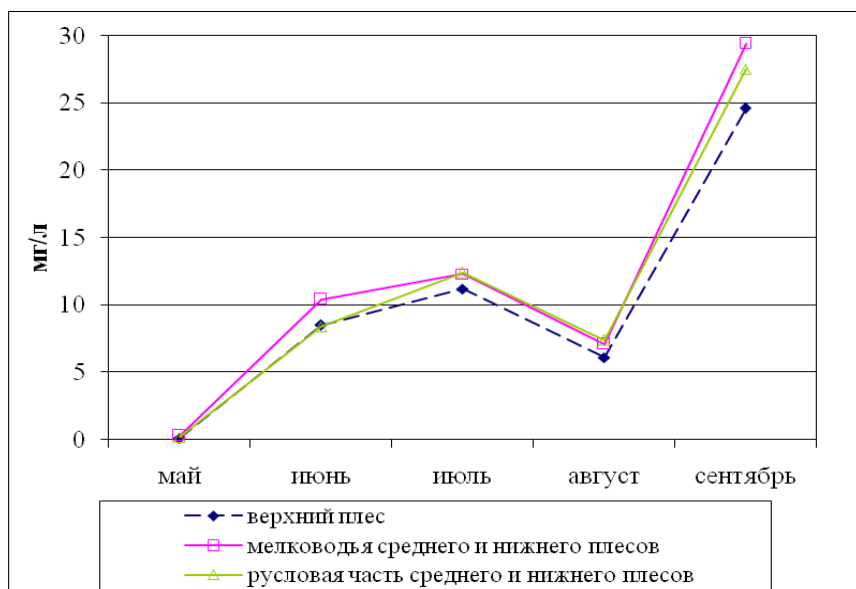


Рис. 11. Сезонная динамика биомассы синезеленых водорослей в поверхностных слоях воды на разных участках Ижевского водохранилища в 2010 году

Сравнивая наши результаты изучения фитопланктона в поверхностных слоях Ижевского водохранилища в районе городского водозабора (пункты 3р и 5п) с усредненными данными, предоставленными по запросу Минприроды УР Центром аналитического контроля вод МУП «Ижводоканал», можно отметить, что на этом же участке водоема на глубине более 4 м в придонных слоях, откуда осуществляется забор воды на городские нужды, концентрация синезеленых водорослей в мае 2010 года была в несколько раз выше, в основном за счет *P. agardhii* (рис. 12). Однако в летние месяцы и в начале осени, наоборот, поверхностные слои рассматриваемого участка водохранилища характеризовались более высокими показателями обилия цианопрокариот. В целом же сезонная динамика численности и биомассы планктонных водорослей на разных глубинах Ижевского водохранилища в районе городского водозабора была сходная: максимальные значения количественных показателей везде зарегистрированы в сентябре и по трофической шкале С.П. Китаева (1984) соответствовали в этом месяце гипертрофному статусу водоема (общая биомасса фитопланктона более 16 г/м³).

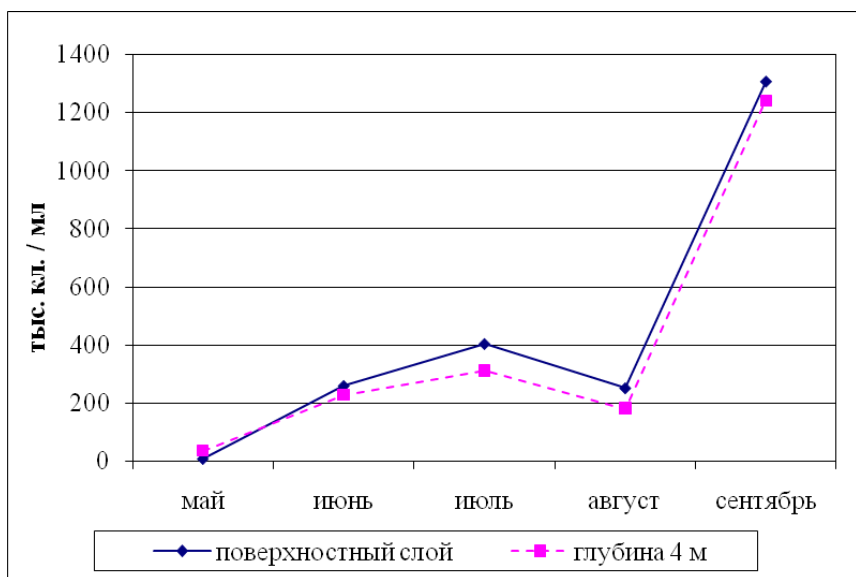


Рис. 12. Сезонная динамика средней численности цианопрокариот в поверхностных слоях (наши данные) и глубинных слоях (данные МУП «Ижводоканал») Ижевского водохранилища в районе городского водозабора в 2010 году

Приведенные выше результаты позволяют говорить о том, что в 2010 году планктотрихетовое «цветение» воды началось в конце весны на прибрежных участках и в придонных слоях Ижевского водохранилища, постепенно к середине лета охватив весь водоем и достигнув своего сезонного максимума в начале осени. В это время фитопланктон на всех участках водоема был представлен одним ярко выраженным видом-доминантом — *P. agardhii*. Не исключено также, что вегетация данного вида цианобактерий продолжалась в водоеме и зимой, однако количественные показатели фитопланктона в зимний период нами не изучались.

Добавим, что в 2009–10 годах в рамках программы реабилитационно-экологических мероприятий, разработанной Минприроды Удмуртской Республики, на разные участки Ижевского водохранилища целенаправленно вносилась биологическая суспензия одного из культурных штаммов одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. По мнению инициаторов мероприятий по альголизации водоема, хлорелла должна была предотвратить или, по крайней мере, значительно уменьшить показатели «цветения»

воды синезелеными водорослями (Богданов, 2007). Результаты наших исследований показали, что в течение всего вегетационного сезона 2010 года значения численности и биомассы хлореллы в Ижевском пруду были невысоки и даже в период ее максимального развития в июне не превышали 1 % от общей численности и биомассы планктонных водорослей. Никакого конкурентного или иного угнетающего воздействия *Ch. vulgaris* на *P. agardhii* нами выявлено не было. Наоборот, в июне была отмечена статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ положительная корреляция ($R_s = 0,70$) значений биомасс двух этих видов на 12 исследованных участках водоема, что свидетельствует в пользу отсутствия каких-либо антагонистических взаимоотношений между ними. Как следствие, можно заключить, что ожидаемый положительный эффект от проведенных в акватории Ижевского водохранилища мероприятий по альголизации, которые должны были способствовать подавлению летне-осенних «вспышек» численности массовых видов синезеленых водорослей, в 2010 году реализован не был.

Изучение микро- и мезозоопланктона в поверхностных слоях Ижевского водохранилища на основании отбора проб с 12 участков водоема ежемесячно в течение вегетационного сезона 2010 года выявило следующие особенности сезонной динамики количественных показателей зоопланктонных организмов (прил. 5.1–5.5, 6.3).

В начале мая на большинстве участков Ижевского водохранилища, за исключением его нижней части, в составе зоопланктонных синузий доминировал по численности и биомассе эврибионтный активный хвататель — веслоногий рачок *Mesocyclops leuckarti* (Claus). На приплотинных участках водоема (пункты 1р и 2н) более высока была численность другого представителя копепод — придонного собирателя-эврифага *Eucyclops serrulatus* (Fischer). В районе устья реки Подборенки (пункт 1н) в мае отмечены самые низкие количественные показатели веслоногих ракообразных, по численности и биомассе здесь преобладали коловратки: в первую очередь, *Asplanchna girodi* de Guerne, а также *Eosphora ehrenbergi* Weber и *Keratella cochlearis* (Gosse). Численность ветвистоусых ракообразных в водоеме в конце весны была повсеместно низкая, лишь в пункте 5н возле городского водозабора достаточно обилен был вторичный фильтратор *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller). Простейшие организмы на большинстве участков Ижевского водохра-

нилища были представлены в это время наиболее массовым видом планктонных инфузорий *Tintinnopsis cratera* Nada и гетеротрофными флагеллятами, на некоторых приплотинных участках водоема многочисленным был солнечник *Actinosphaerium eichhorni* Ehr., а в верхнем плесе — раковинные амёбы из рода *Diffugia*. Майские показатели общей биомассы зоопланктона характеризовались невысокими значениями (рис. 9, 13) и в основном определялись развитием некоторых видов копепоид и коловраток.

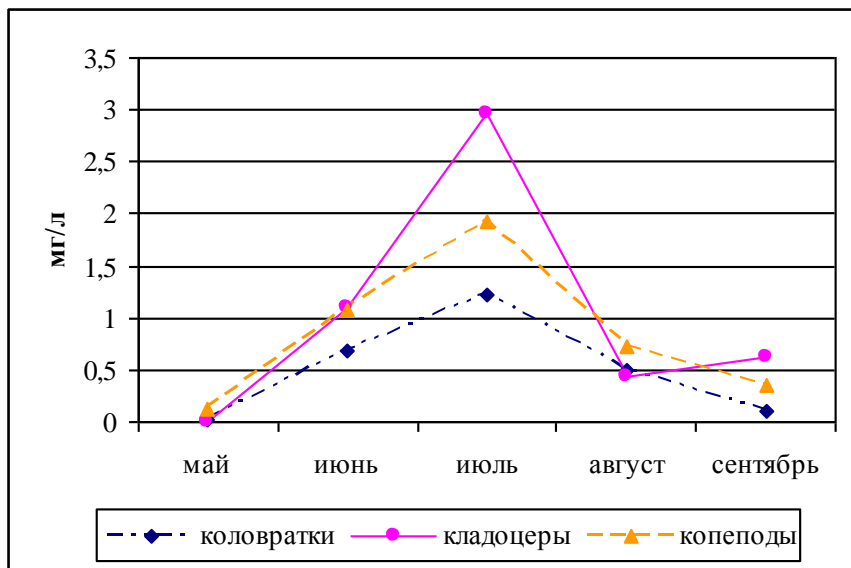


Рис. 13. Сезонная динамика средней биомассы основных таксономических групп метазойного планктона в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища

В начале июня общая численность зоопланктонных организмов в среднем по водоему возросла в 80 раз и составила около 500,6 тыс. экз./м³. Основной вклад в повышение общей численности зоопланктона внесло массовое развитие мелких ветвистоусых ракообразных и некоторых видов коловраток на отдельных участках Ижевского водохранилища, особенно в прибрежном пункте 3п — в районе устья реки Малиновки. На большинстве участков водоема, за исключением пункта 3п, в начале лета преобладали по численности коловратки, среди которых наиболее обильными были мелкие вертикаторы из рода *Keratella*. Самыми массовыми пред-

ставителями кладоцер в это время были фильтраторы *Bosmina longirostris* (O.F. Müller), а на некоторых участках водоема также *Daphnia galeata* G.O. Sars (пункты 4n, 4p и 6n) и *Ch. sphaericus* (пункт 1n). Веслоногие ракообразные в июне были обильно представлены особями, находящимися на науплиальных стадиях развития. По биомассе копеподы доминировали в районе устья реки Подборенки и на русловых участках верхнего и среднего плесов Ижевского водохранилища, в основном за счет видов *M. leuckarti* и *Cyclops strenuus* (Fischer), которые уступали свои доминирующие позиции массовым видам кладоцер в пунктах, расположенных в районе городского водозабора и в правобережье нижнего плеса водоема. В составе протозойного планктона на всех участках водоема в июне массово развивались планктонные инфузории *T. cratera*.

В начале июля количественные показатели зоопланктонных организмов Ижевского водохранилища возросли еще в два раза по сравнению с июнем и достигли своего сезонного максимума (рис. 8, 9). Общая численность микро- и мезозоопланктона при этом составила в среднем 1049,0 тыс. экз./м³, общая биомасса — 5,77 г/м³. Самыми высокими значениями численности метазойного планктона характеризовались в середине лета заросшие участки верхнего плеса Ижевского пруда, где в это время наиболее массово развивался фитофильный вид коловраток *Enteroplea lacustris* Ehr. Он же преобладал по численности и на большинстве участков среднего и нижнего плесов водоема, уступая свои доминирующие позиции другим видам коловраток и ракообразных лишь на мелководных участках левого берега. По биомассе в составе зоопланктона в июле доминировали ветвистоусые ракообразные (рис. 13), среди них наиболее многочисленными были виды рода *Bosmina*, а также *Daphnia cucullata* G.O. Sars, *D. galeata* и *Ch. sphaericus*. Биомасса веслоногих ракообразных в Ижевском водохранилище в этот период была в среднем в 1,5–2 раза ниже, чем биомасса кладоцер, хотя на отдельных участках водоема (в районе Юровского мыса и устья реки Малиновки) их значения были сопоставимы. Простейшие организмы в составе микрозоопланктона в июле были представлены, главным образом, инфузориями *T. cratera* и раковинными амебами *Nebela collaris* Leidy, численность которых наиболее высокой была также в верхнем плесе.

К началу августа количественные показатели зоопланктона снизились в среднем в 3,5 раза по сравнению с предыдущим месяцем. Наибольший спад численности отмечен у протозойного планктона и ветвистоусых ракообразных. В этот период на всех участках Ижевского водохранилища, за исключением пункта 2р, доминировали по численности коловратки, представленные, в первую очередь, такими наиболее массовыми видами, как *K. cochlearis*, *E. ehrenbergi* и *E. lacustris*. По биомассе в верхнем плесе и в створе городского пляжа преобладали копеподы, представленные преимущественно видом *M. leuckarti*. В приплотинной части водохранилища в конце лета по биомассе доминировали кладоцеры, среди которых самым обильным был вид *Bosmina coregoni* Baird. На прибрежных участках водоема в створе городского водозабора как по численности, так и по биомассе доминировали коловратки.

В сентябре общая численность зоопланктона в Ижевском водохранилище снизилась еще в среднем в два раза, в основном за счет существенного уменьшения численности коловраток. В то же время количественные показатели кладоцер и простейших по сравнению с августом несколько возросли. При этом «вспышка» численности ветвистоусого рачка *B. coregoni* была отмечена в пункте 3р напротив городского водозабора. Этот же вид доминировал по численности на других русловых участках водоема, а также в правобережной части среднего и нижнего плесов. В то же время на мелководьях левобережной части водохранилища наиболее обильными были мелкие коловратки из рода *Keratella*. По биомассе в среднем по водоему преобладали кладоцеры, хотя на прибрежных участках верхнего и среднего плесов Ижевского пруда наиболее высокая биомасса была зарегистрирована у веслоногого рачка *M. leuckarti*.

В целом, массовое развитие организмов зоопланктона в Ижевском водохранилище летом 2010 года с периодическими «вспышками» численности некоторых видов кладоцер-фильтраторов и коловраток-микрофагов, суммарное обилие которых достигало на отдельных участках водоема значений в 1–4 млн экз./м³, может свидетельствовать об активизации процессов эвтрофирования рассматриваемой водной экосистемы (Крючкова, 1987). Доминирование в летний период в пелагиали таких мелких видов кладоцер, как *B. longirostris* и *Ch. sphaericus*, а также коловраток из

рода *Keratella*, которые являются индикаторами высокого трофического статуса пресных водоемов (Крылов, 2005; Лазарева, 2010) и активно встраиваются в бактериально-детритные цепи питания через микробную «петлю», формирующуюся на основе внеклеточной продукции РОВ и отмершей биомассы планктонных водорослей, характеризует экосистему Ижевского водохранилища как находящуюся на одной из поздних стадий олиготрофно-эвтрофной сукцессии. По показателям общей биомассы зоопланктона водоем имел в июле α -эвтрофный статус (Китаев, 1984), а в другие летние месяцы и в сентябре характеризовался как мезотрофный.

4.3. Экологические факторы, определяющие развитие планктонных организмов в Ижевском водохранилище

Чтобы выяснить, с чем могли быть связаны «вспышки» численности фито- и зоопланктона в Ижевском водохранилище в течение вегетационного сезона 2010 года, нами был проведен корреляционный анализ количественных данных, полученных с мая по сентябрь в результате обработки гидрохимических и гидробиологических проб, взятых на 12 участках водоема. Основные физико-химические и биологические факторы, которые, по нашему мнению, в той или иной степени могли повлиять на динамику численности синезеленых водорослей в Ижевском пруду, приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, из числа изученных нами экологических факторов водоема наиболее важным для развития цианопрокариот и статистически значимо связанным с их численностью в разные месяцы оказалось содержание в воде общего фосфора и растворенных фосфатов, в частности. При этом в зависимости от фазы вегетационного сезона была отмечена как положительная, так и отрицательная корреляция значений численности синезеленых водорослей и концентрации фосфорсодержащих веществ в толще воды Ижевского водохранилища. Как мы считаем, данный факт обусловлен двусторонним характером причинно-следственных связей между рассматриваемыми количественными показателями. Общеизвестно, что не только содержание фосфора как элемента питания может определять показатели роста и размножения планктонных продуцентов, но и они сами отчасти могут влиять на появление доступных форм фосфора в пелагиали водоема в результате

выделения живыми и отмершими клетками в толщу воды растворенных органических веществ, содержащих этот химический элемент (это уже обсуждалось в разд. 4.1). Кроме того, различные органические метаболиты, выделяемые синезелеными водорослями, могут инициировать процессы отмирания биомассы некоторых таксономических групп зоопланктона, будучи цианотоксинами, или стимулировать последующую трансформацию и минерализацию растворенных органических веществ, являясь экзоферментами (Константинов, 1986; Телитченко, Остроумов, 1990).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между средними значениями численности цианопрокариот и значениями различных экологических факторов на 12 участках Ижевского водохранилища в разные месяцы 2010 года*

Экологический фактор	Коэффициенты ранговой корреляции				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Температура воды	0,243	-0,175	0,381	-0,350	0,313
Прозрачность воды	-0,734	-0,362	-0,205	-0,231	-0,552
БПК	0,519	0,301	0,566	-0,126	0,421
ХПК	-0,070	-0,163	0,584	-0,400	0,411
Фосфаты	0,675	< п.о.	-0,792	< п.о.	0,224
Фосфор общий	н.д.	0,259	-0,801	-0,705	0,608
Нитраты	0,488	-0,371	-0,531	0,219	-0,084
Аммоний	-0,435	-0,517	-0,678	0,238	-0,302
Марганец	0,624	0,089	-0,517	0,495	0,427
Численность диатомовых водорослей	0,168	-0,323	-0,111	-0,061	-0,517
Численность зеленых водорослей	0,427	0,323	0,378	0,014	0,031
<i>Средняя численность цианопрокариот, тыс. кл./мл</i>	<u>7,58</u>	<u>244,21</u>	<u>406,65</u>	<u>233,48</u>	<u>1246,56</u>
<i>Динамика роста численности цианопрокариот</i>	↑	↑	↓	↓	↑

* **Жирным шрифтом** выделены значения, статистически значимые на уровне $\alpha = 0,05$; н.д. — нет данных; < п.о. — концентрации меньше пределов обнаружения; «↑» — увеличение численности, «↓» — уменьшение численности.

В мае в Ижевском водохранилище наблюдалась положительная причинно-следственная связь содержания в воде ряда элементов питания с количеством водных продуцентов, которая проявилась в стимулировании роста численности синезеленых водорослей растворенными ортофосфатами, вероятно, появившимися в пелагиали в результате весеннего повышения температуры и активизации процессов минерализации органических веществ, накопившихся с прошлого года на дне и в придонных слоях водоема. По нашему мнению, микробиологическое разложение накопленной «органики» с выделением фосфатов и других неорганических соединений в толщу воды могли катализировать ферменты не только гетеротрофных бактерий-редуцентов, но и самих активно нарастающих численность и биомассу цианопрокариот, то есть помимо прямой существовала еще и обратная причинно-следственная связь «продуценты — фосфаты», которая в конце весны также была положительна. Одним из таких ферментов у синезеленых водорослей является щелочная фосфатаза (Даценко, 2007; Байрактар, Полукарова, 2012), которая участвует в высвобождении растворенных фосфатных групп из фосфорорганических соединений — в частности, из фосфолипидов, составляющих основу клеточных мембран отмерших организмов. Щелочная фосфатаза организмов функционирует в условиях повышенных значений pH среды и аллостерически активируется ионами некоторых металлов.

В мае нами также была отмечена статистически значимая и положительная корреляция численности синезеленых водорослей Ижевского водохранилища с содержанием ионов марганца в толще воды (табл. 1). Марганец жизненно необходим всем продуцентам, имеющим хлорофилл и выделяющим кислород при фотолизе воды в процессе фотосинтеза, в том числе и цианобактериям. Кроме того, он может являться кофактором ряда важных защитных ферментов синезеленых водорослей, участвующих в процессах дезактивации свободных радикалов кислорода, таких как супероксиддисмутаза (Скурлатов и др., 1994). Мы предполагаем, что процесс микробиологического разложения в водоеме ряда гидрофобных органических соединений, таких как фосфолипиды, предваряется их переводом в растворенную форму из состава детритно-илистых фракций донных отложений в результате интенсификации процессов свободнорадикального окисления органических веществ в конце весны. Эти процессы изначально имеют фотохимическую осно-

ву и реализуются, в первую очередь, на мелководьях водоемов во время или сразу после снеготаяния, где в условиях повышенной освещенности и насыщения воды кислородом могут образовываться его активные формы — свободные радикалы (O_2^- , OH^\cdot), пероксид водорода H_2O_2 (Синельников, 1980), а также другие химические окислители органических соединений.

В частности, по литературным данным (Скурлатов и др., 1994), в стоячих водоемах, подверженных антропогенному загрязнению, в весенний период могут появляться вещества «сверхокислители» в виде метастабильных микроколлоидных частиц, в составе которых присутствует смешанно-валентный марганец (III, IV). Такие свежесформированные частицы реагируют с различными органическими веществами весьма эффективно, окисляя их с высвобождением в воду двухвалентных ионов марганца. В свою очередь, синезеленые водоросли могут влиять на процесс двухэлектронного окисления этих ионов до MnO_2 , происходящий в воде с участием перекиси, посредством снижения ее концентрации в результате пероксидазного окисления выделяемых ими веществ-восстановителей. Эти факты косвенно подтверждают наше предположение о важности роли данного микроэлемента в инициации весенних процессов «цветения» воды в Ижевском водохранилище, которые могут стимулироваться и поддерживаться периодическим поступлением из мелководных донных отложений дополнительных «порций» восстановленного марганца и других подвижных биогенных элементов в результате цепных фото- и биохимических окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водной среде с участием различных катализаторов и сопровождающихся появлением свободных радикалов.

Как показали результаты корреляционного анализа, к началу июля 2010 года фосфаты наряду с ионами аммония стали основным фактором, ограничивающим дальнейший рост численности синезеленых водорослей в Ижевском пруду. Значения концентраций растворенных фосфатов и аммония в поверхностных слоях воды разных участков водоема статистически значимо и отрицательно коррелировали с количеством цианопрокариот (табл. 1). Так проявили себя прямые и обратные связи между химическими и биологическими показателями в середине лета: с одной стороны, имело место интенсивное поглощение из толщи воды растворенных веществ, содержащих фосфор и азот, живыми клетками доми-

нирующих видов цианопрокариот и включение этих химических элементов в состав их фитомассы; с другой стороны — постепенное отмирание и разложение биомассы самих организмов фитопланктона на некоторых участках водоема с высвобождением поглощенных биогенных веществ обратно в воду. Как следствие, к середине лета в пелагиали водоема сформировался ограниченный по массе обменный фонд биогенных элементов, активно мигрирующих из воды в состав планктонной биомассы и обратно при ее последующем отмирании. По-видимому, в июле-августе маловодного 2010 года вследствие экстремально низких летне-меженных расходов воды в притоках Ижевского водохранилища обменный фонд его биогенных элементов был существенно лимитирован по «приходу» дополнительных количеств фосфора извне и пополнялся этим элементом в основном за счет внутренних резервов. Во второй половине лета значительная часть биогенов водоема скорее всего «ушла» в прирост биомассы водных макрофитов, а также в донные отложения в составе отмершей биомассы весенне-летнего фито- и зоопланктона при осаждении взвешенных частиц детрита (триптона). Вследствие этого в верхних слоях водохранилища содержание доступных для автотрофного питания соединений фосфора и отчасти азота стало ограниченным, что могло повлиять на снижение численности как цианопрокариот, так и большинства эукариотических водорослей (за исключением эвгленовых миксотрофных флагеллят) с середины до конца лета.

В сентябре новая «вспышка» численности синезеленых водорослей, представленных почти исключительно видом *P. agardhii*, как и в начале вегетационного сезона сопровождалась статистически значимой положительной корреляцией этого количественного показателя с концентрацией фосфора в водной среде (табл. 1). Стимулирующая роль повышения содержания фосфорсодержащих соединений в пелагиали Ижевского водохранилища в отношении роста численности *P. agardhii* в начале осени, возможно, была обусловлена их дополнительным поступлением в толщу воды при отмирании биомассы погруженных гидрофитов, массово развивавшихся в летний сезон на мелководьях, особенно в верхнем плесе и в правобережном заливе Юровского мыса. По крайней мере, наибольшие значения концентрации общего фосфора в сентябре были зарегистрированы именно в пункте 4р — как раз на выходе из верхнего плеса южнее вышеуказанного мыса (прил. 3.5). Не ис-

ключено также, что осенняя «вспышка» численности планктотрихетовых цианобактерий была связана с постепенным похолоданием и окончанием периода летней температурной стратификации, которая наблюдалась в июле и начале августа 2010 года в среднем и нижнем плесах Ижевского пруда (см. разд. 4.1), после чего при вертикальном перемешивании гомотермных слоев воды из глубины на поверхность водоема могли поступить дополнительные количества фосфора.

Следует отметить также отрицательную корреляцию численности синезеленых водорослей с уровнем прозрачности воды, которая была статистически значимой в мае (табл. 1). С учетом того, что основу численности цианопрокариот составлял олигофотный вид *P. agardhii*, следует признать фактор высокой прозрачности воды значимым для ограничения роста количественных показателей данного вида в весенний период. Возможно, именно по этой причине, а также из-за повышенных расходов воды в Ижевском водохранилище в мае 2010 года *P. agardhii* уступал свои доминирующие позиции по показателям биомассы в поверхностных слоях воды диатомовым водорослям, среди которых наиболее массово в этот период развивались представители родов *Stephanodiscus* и *Aulacoseira*. Следует отметить, что некоторые виды диатомей из рода *Stephanodiscus*, также как и цианопрокариоты планктотрихетовой группы S_1 (Reynolds et al., 2002), являются индикаторами высокой степени эвтрофирования водной экосистемы. По крайней мере, один из них — *Stephanodiscus hantzschii* Grun. — способен факультативно питаться низкомолекулярными растворенными органическими веществами, то есть является миксотрофным видом водорослей (Трифенова, 1990).

Связь численности синезеленых водорослей Ижевского водохранилища с показателями БПК и ХПК в отдельные месяцы 2010 года была достаточно высокой, достигая максимальных и статистически значимых (для ХПК) положительных величин в июле (табл. 1). С учетом того, что значения этих показателей главным образом отражают содержание окисляющихся органических веществ в толще воды, подобная связь могла быть как прямой, так и косвенной. Во-первых, высокое содержание в воде биологически разлагаемых органических веществ в середине лета могло определить последующее высвобождение из них доступных растворенных соединений азота и фосфора, необходимых для роста и размноже-

ния цианопрокариот, что в дальнейшем привело к увеличению их численности. Во-вторых, наличие трудно разлагаемых органических соединений, представленных в воде хитиновыми и целлюлозными остатками отмерших гидробионтов, а также другими микровзвесьями, формирующими суспензию триптона, могло привести к уменьшению прозрачности воды, с которой отрицательно скоррелированы количественные характеристики *P. agardhii*. Кроме того, как уже отмечалось выше, синезеленые водоросли сами способствуют появлению органических веществ в водной среде посредством выделения различных метаболитов и биологически активных веществ, в том числе и альготоксинов, которые могут угнетать развитие некоторых зоопланктонных организмов и активизировать процесс их отмирания с увеличением показателей БПК и ХПК. В то же время между цианобактериями и эукариотическими водорослями Ижевского водохранилища, в частности, диатомовыми, нами не было отмечено явного антагонистического взаимодействия, о чем свидетельствуют относительно низкие значения отрицательных коэффициентов корреляции значений их численности, не достигающие статистически значимых величин (табл. 1).

Что касается динамики количественных показателей зоопланктона в течение вегетационного сезона 2010 года, то она определялась, в первую очередь, сезонным изменением температурных и кормовых условий (табл. 2). В мае наблюдалась статистически значимая положительная корреляция между значениями общей биомассы зоопланктона и значениями биомассы зеленых и эвгленовых водорослей. Стимулирующее влияние повышенного обилия представителей этих двух групп фитопланктона на развитие организмов зоопланктона может свидетельствовать о весенних пищевых предпочтениях планктонных фитофагов и эврифагов, не способных эффективно поглощать колониальные формы доминирующих видов цианопрокариот и диатомовых водорослей, но интенсивно и избирательно потребляющих одиночных представителей планктонной альгофлоры. Среди последних в начале мая на большинстве исследованных участков Ижевского пруда преобладали хлорококковые зеленые водоросли и некоторые виды одиночных диатомей, а в прибрежье верхнего и среднего плесов водоема также высока была численность зеленых и эвгленовых жгутиконосцев. Статистическая значимость положительной корреляции общей биомассы зоопланктона с температурой воды, отмеченная нами

в мае, скорее всего, явилась отражением опосредованного температурного влияния на доминирующих планктонных животных как на потребителей теплолюбивых «съедобных» зеленых водорослей. У этой группы фитопланктона аналогичная положительная корреляция значений биомассы с температурой в весенний период была еще выше ($R_S = 0,71$). Данный факт только подчеркивает наше предыдущее утверждение о важной роли зеленых протококковых и монадных водорослей в питании доминирующих групп зоопланктона Ижевского водохранилища в весенний период, что не противоречит и литературным данным (Сущеня, 1975; Монаков, 1998).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между средними значениями общей биомассы зоопланктона и значениями различных экологических факторов на 12 участках Ижевского водохранилища в разные месяцы 2010 года

Экологический фактор	Коэффициенты ранговой корреляции				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Температура	0,645	-0,709	-0,510	0,122	0,031
БПК	0,362	0,554	-0,517	-0,077	-0,100
ХПК	0,524	0,021	-0,661	0,390	-0,545
Биомасса цианопрокариот	0,318	0,121	-0,643	-0,280	-0,038
Биомасса диатомовых водорослей	-0,202	-0,173	0,077	-0,103	0,362
Биомасса зеленых водорослей	0,622	0,334	-0,681	0,350	0,404
Биомасса эвгленовых водорослей	0,628	0,264	0,000	0,023	н.о.
Средняя биомасса зоопланктона, г/м ³	0,15	2,86	5,77	1,66	1,08
Динамика роста биомассы зоопланктона	↑	↑	↓	↓	↓

* **Жирным шрифтом** выделены значения, статистически значимые на уровне $\alpha = 0,05$; н.о. — не обнаружены; «↑» — увеличение биомассы, «↓» — уменьшение биомассы.

В июле на участках Ижевского водохранилища была отмечена статистически значимая отрицательная корреляция значений

общей биомассы зоопланктона и биомассы зеленых водорослей, что могло свидетельствовать о лимитировании роста количественных показателей планктонных животных (в первую очередь, некоторых растительоядных видов кладоцер-фильтраторов) возможностями кормовой базы, представленной «съедобными» организмами фитопланктона, численность которых к середине лета стала уменьшаться в результате выедания зоопланктоном. По-видимому, в наименьшей степени выедались планктонными животными в это время лишь доминирующие виды синезеленых водорослей, не являющиеся доступными и приоритетными объектами питания для большинства организмов зоопланктона в периоды «цветения» в силу крупных размеров своих колоний/трихомов, достаточно устойчивых к механическому дроблению, а также из-за наличия различных слизистых и иных оболочек, плохо разрушаемых химически пищеварительными ферментами животных. Хотя у ряда видов цианопрокариот трихомы, не имеющие слизистых оболочек, могут механически расщепляться на фрагменты и факультативно утилизироваться некоторыми видами крупного метазойного планктона (Крючкова, 1987).

Между значениями июльских биомасс цианопрокариот и зоопланктона Ижевского водохранилища нами тоже была зарегистрирована статистически значимая отрицательная корреляция (табл. 2). По нашему мнению, одним из объяснений этого факта может являться возможность утилизации биомассы синезеленых водорослей организмами микро- и мезозоопланктона не столько в пастбищной, сколько в бактериально-детритной цепи питания пелагических организмов, которая начинается с прижизненных органических выделений и отмершей фитомассы цианопрокариот с последующим разложением и потреблением растворенных и взвешенных в воде органических веществ микроорганизмами. В свою очередь, триптон и развивающиеся на нем бактерии могут активно поглощаться протозойным планктоном — гетеротрофными жгутиконосцами и инфузориями (Копылов и др., 2007), а также коловратками-вертикаторами и тонкими фильтраторами, представленными некоторыми видами кладоцер. Всех их, в свою очередь, поедают крупные планктонные ракообразные и хищные коловратки. Исходя из данных Т.И. Казанцевой (2003), в высокоэвтрофных водоемах даже в рационе хищного планктона доля детрита в середине лета может достигать 50–80 %. Таким образом, внеклеточное

продуцирование растворенной органики и естественное отмирание части биомассы планктонных водорослей (и не только синезеленых) через какое-то время посредством микробной «петли» могло привести к повышению количественных показателей отдельных групп зоопланктона на исследованных участках Ижевского водохранилища в начале июля. Выше мы также указывали на значимость обратной причинно-следственной отрицательной связи, которая проявляется в скоррелированном антагонистическом влиянии живых цианобактерий на биомассу планктонных животных посредством выделения в водную среду цианотоксинов, угнетающих ростовые и репродуктивные показатели последних, а также механических помех, которые создают крупные «несъедобные» водоросли для пищевой фильтрации ряда видов ветвистоусых ракообразных, снижая эффективность их питания и вследствие этого — плодовитость и численность (Садчиков, 1993). Нужно учесть, что цианотоксины обладают определенной специфичностью своего негативного действия по отношению к различным видам метазойного зоопланктона: наименее устойчивы к действию токсинов синезеленых водорослей некоторые виды крупных кладоцер (Гутельмахер, 1986; Левич и др., 1997).

Статистически значимая отрицательная связь биомассы организмов зоопланктона и показателя ХПК, отмеченная нами в июле, скорее всего, также носит двусторонний характер. С одной стороны, многие планктонные животные Ижевского водохранилища могли наращивать свою биомассу, изымая из толщи воды путем фильтрации, седиментации, всасывания или прямого захвата органическую взвесь — триптон, концентрация которого отчасти определяла значения ХПК и могла уменьшаться вследствие питания планктонных консументов — факультативных или облигатных детритофагов. С другой стороны, те организмы планктонных животных, которые не были съедены рыбами-планктофагами, в конце своего короткого жизненного цикла отмирали естественным образом, и их органические остатки (а также экскременты и экзувии), взвешенные в пелагиали, могли способствовать повышению ХПК и мутности воды.

Таким образом, мы считаем, что массовое развитие зоопланктона в Ижевском водохранилище в середине лета в большей степени было обусловлено трансформацией вещества и энергии пелагиали не в пастбищных, а в бактериально-детритных цепях

питания, что является свидетельством поздне-сукцессионных продукционно-деструкционных процессов, протекающих в настоящее время в экосистеме водоема с вовлечением в пищевой цикл организмов больших количеств «мертвой органики». Эти легко утилизируемые водными микроконсументами органические вещества имеют не только автохтонное происхождение, они периодически поступают в водоем извне с талым и дождевым смывом с поверхности водосборной территории и с неочищенными сточными водами — большей частью через реки-притоки.

По нашему мнению, в тесной связи с вышеизложенными фактами следует интерпретировать и возможные последствия трехкратного внесения концентрированной суспензии живой хлореллы в Ижевское водохранилище весной и летом 2010 года с прикладной целью конкурентного подавления массовых видов синезеленых водорослей (Богданов, 2007). Нами было замечено, что «вспышки» численности зоопланктона, периодически наблюдавшиеся в течение лета-осени данного года на отдельных участках водохранилища и по амплитуде превышавшие на порядок аналогичные показатели других участков водоема в это же время (рис. 14), были локализованы в тех местах, где за 1,5–2 месяца до этого производился запуск выращенного в искусственных условиях культурного штамма клеток водорослей *Ch. vulgaris*.

Так, первое подледное внесение живой суспензии этого вида на прибрежные участки водохранилища вблизи устьев рек Подборенки и Пазелинки, а также возле сбросов ТЭЦ-1 и зоны намыва донных отложений в начале весны отчасти могло повлиять на массовое развитие зоопланктона на одном из таких участков (пункт 3n) в начале мая, хотя в остальных местах аналогичных последствий в это время не наблюдалось. Выливание более концентрированной суспензии живой хлореллы и в большем объеме по периметру всего верхнего плеса водохранилища (в 20 местах) во второй раз — в мае 2010 года — уже вполне можно было соотнести с июльской «вспышкой» численности зоопланктона в данной части водоема, достигавшей максимальных значений в 3–4 млн экз./м³, в основном за счет коловраток, мелких кладоцер и инфузорий. Третье за год внесение биомассы хлореллы в акваторию Ижевского пруда в районе городского водозабора в июле хорошо согласовалось со «вспышкой» численности некоторых видов планктонных ракооб-

разных и коловраток на этом участке водоема (пункт 3р) в начале сентября.

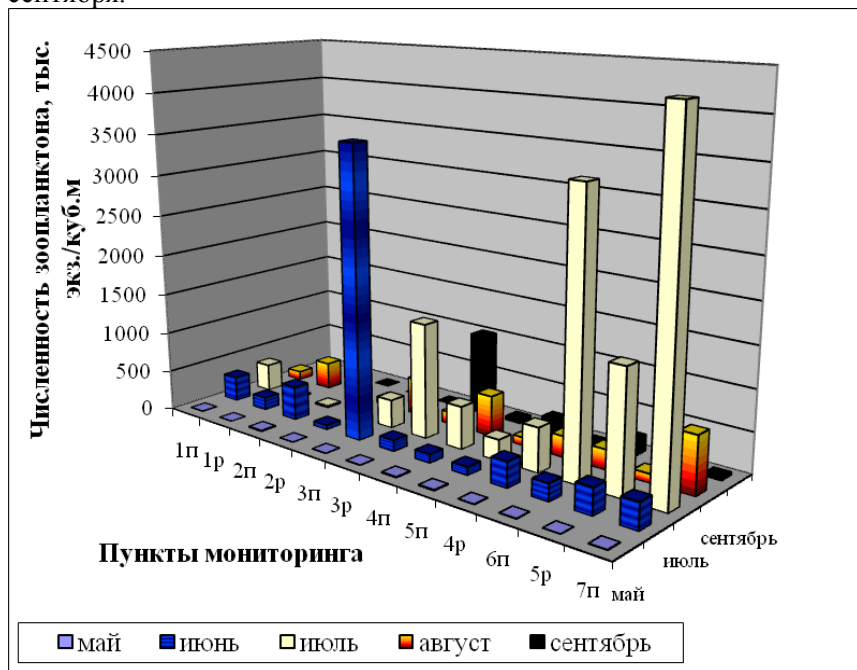


Рис. 14. Распределение численности зоопланктона в поверхностных слоях Ижевского водохранилища на разных участках и в разные месяцы вегетационного сезона 2010 года

Мы не исключаем, что существенное увеличение численности некоторых групп зоопланктона на тех участках водохранилища, куда 1,5–2 месяцами ранее запускалась хлорелла, могло быть последствием проведенных мероприятий по альголизации и связано с успешной утилизацией внесенной биомассы одноклеточных зеленых водорослей планктонными животными. При этом полутора-двухмесячное время запаздывания «эффекта» альголизации, который, предположительно, наблюдался на отдельных участках водоема в виде «вспышек» численности зоопланктона, можно объяснить последовательностью событий, на протекание каждого из которых требуется определенное время. Это размножение внесенной культуры хлореллы, частичное ее выедание планктонными фитофагами, отмирание и осаждение оставшейся части биомассы хлореллы, включение отмершей фитомассы в более длинные и раз-

ветвленные бактериально-детритные цепи питания зоопланктона, увеличение скорости роста и плодовитости накормленных планктонных животных, повышение численности их последующих генераций.

Так или иначе, локальное, временное и значительное по амплитуде увеличение численности зоопланктона на отдельных участках Ижевского водохранилища могло быть связано прямо или косвенно с улучшением условий питания отдельных трофических групп планктонных животных за счет периодического появления в пелагиали каких-то дополнительных кормовых ресурсов. Связать посредством корреляционного анализа существенный разброс на 1–2 порядка значений количественных показателей зоопланктона, зарегистрированных нами на разных участках Ижевского водохранилища практически в одно и то же время (с учетом отбора гидробиологических проб на всех участках в один и тот же день в течение 2–3 часов первой половины дня), с некоторой неоднородностью распределения лимитирующих абиотических факторов водной среды в пространстве акватории водоема нам не удалось. В связи с чем роль вертикальных миграций, не имеющих кормового значения, и тем более пассивного горизонтального переноса сгонно-нагонными и адвекционными течениями в формировании узколокальных скоплений зоопланктонных организмов в относительно небольшом по размерам водохранилище нам представляется вторичной.

Также сложно объяснить разрозненные в пространстве и времени «вспышки» численности зоопланктона Ижевского водохранилища избирательным прессингом и особенностями распределения рыб-планктофагов, которые в летний период 2010 года могли быть представлены мальками некоторых массовых видов ихтиофауны и взрослыми особями единственного относительно специализированного по питанию зоопланктоном аборигенного вида рыб — уклейки. В настоящее время уклейка в данном водоеме имеет весьма невысокие показатели обилия — около 1 % от общей ихтиомассы (Истомина и др., 2008). По оценкам В.В. Варфоломеева (1967), кормовая база зоопланктона Ижевского водохранилища в значительной степени недоутилизируется промысловыми видами рыб, что следует учитывать при проведении рыбоводно-мелиоративных мероприятий на водоеме.

4.4. Оценка биогенной (фосфорной) нагрузки на экосистему Ижевского водохранилища в мае-сентябре 2010 года

Исходя из результатов корреляционного анализа, приведенных в предыдущем разделе, можно заключить, что одним из основных экологических факторов, определяющих динамику количественных показателей синезеленых водорослей в Ижевском водохранилище, является содержание фосфора в водной среде в составе биологически доступных соединений. На лимитирующее значение фосфора для роста первичной и общей продукции водных экосистем указывают и многочисленные литературные источники, посвященные изучению процессов эвтрофирования пресных водоемов (Жукова, 1989; Хендерсон-Селлерс, Маркленд, 1990; Алимов, 2000; Даценко, 2007; Vollenweider, 1975 и др.). Таким образом, чтобы понять причины и механизмы «цветения» воды в Ижевском пруду, необходимо, как минимум, выявить основные источники поступления фосфорсодержащих веществ в водоем, определяющие уровень внешней биогенной нагрузки, а также выяснить основные пути биологической миграции данных веществ в водной экосистеме, способы их удержания и вторичного вовлечения в продукционно-деструкционные процессы, чтобы оценить уровень внутренней биогенной нагрузки.

Биологически доступные соединения фосфора (растворимые орто- и полифосфаты, фосфолипиды и другие фосфорорганические вещества, подверженные минерализации) могут поступать в Ижевское водохранилище с водосбора тремя основными путями: через реки-притоки, в составе организованного сброса сточных вод и с береговым смывом с территории водоохранной зоны. Объективная оценка объемов поступления фосфора в водоем с талым и дождевым смывом с береговой территории, представленной разнообразными лесными и болотными экосистемами, рекреационными участками, линейными и площадными объектами транспортной инфраструктуры, местами хранения твердых промышленных отходов, а также селитебными и производственными площадями г. Ижевска, сопряжена со значительными затратами труда, времени и финансов и, как следствие, не входила в число поставленных в данной работе задач. Основными антропогенными источниками, осуществляющими организованный сброс сточных вод непосред-

ственно в акваторию водохранилища, являются такие городские предприятия, как ОАО «Аксион-Холдинг», ТЭЦ-1 и деревообрабатывающий цех треста № 18 (Стурман и др., 2002). При этом сбросы сточных вод двух первых предприятий, являющиеся следствием работы систем оборотного водоснабжения с целью охлаждения производственного оборудования, соответствуют категории «условно чистых» вод. Что касается сточных вод последнего предприятия, то они являются «недостаточно очищенными», в первую очередь, из-за повышенного содержания фенолов, появляющихся в избыточных количествах в стоках в результате намокания древесно-стружечных отходов. В то же время существуют различные способы попадания больших количеств неочищенных и недостаточно очищенных производственных сточных вод г. Ижевска в водохранилище непрямым путем — в частности, через речку Подборенку, куда сбрасываются промывные стоки с водозаборных фильтров старых головных очистных сооружений МУП «Ижводоканал» и отводятся ливневые стоки с территории промышленной зоны ГУП ИЭМЗ «Купол».

Исходя из сказанного выше, мы предполагаем, что основной «приход» фосфорсодержащих веществ в водную экосистему Ижевского пруда с водосбора осуществляется через реки-притоки, а роль берегового смыва в обеспечении годовых объемов поступления фосфора в водоем в целом второстепенна и, вероятно, наиболее явно проявляется лишь в период весеннего снеготаяния в нижней трансформированной части городского побережья. Как следствие, нами был произведен ориентировочный расчет средних помесечных объемов (масс) фосфора, поступавших в Ижевское водохранилище с основными притоками — реками Иж, Люк, Пазелinka и Подборенка — на основе измерения концентраций растворенных ортофосфатов и общего фосфора на приустьевых участках данных рек с мая по сентябрь 2010 года (рис. 15; табл. 3; прил. 6.1). Расчет майских значений объемов фосфора, поступившего с притоками в водоем, произведен только на основе измеренных концентраций ортофосфатов, так как содержание общего фосфора в воде в этом месяце нами не оценивалось.

Как видно из рис. 15 и табл. 3, наибольшие концентрации подвижных ортофосфатов были зарегистрированы в устье реки Подборенки в июле и августе, превышая в среднем в три раза аналогичные концентрации в устьях других притоков Ижевского во-

водохранилища в эти же месяцы. Пик содержания общего фосфора отмечался также в этом водотоке в августе, причем суммарная концентрация двух форм данного элемента в воде была здесь на порядок выше, чем в остальных исследованных водотоках.

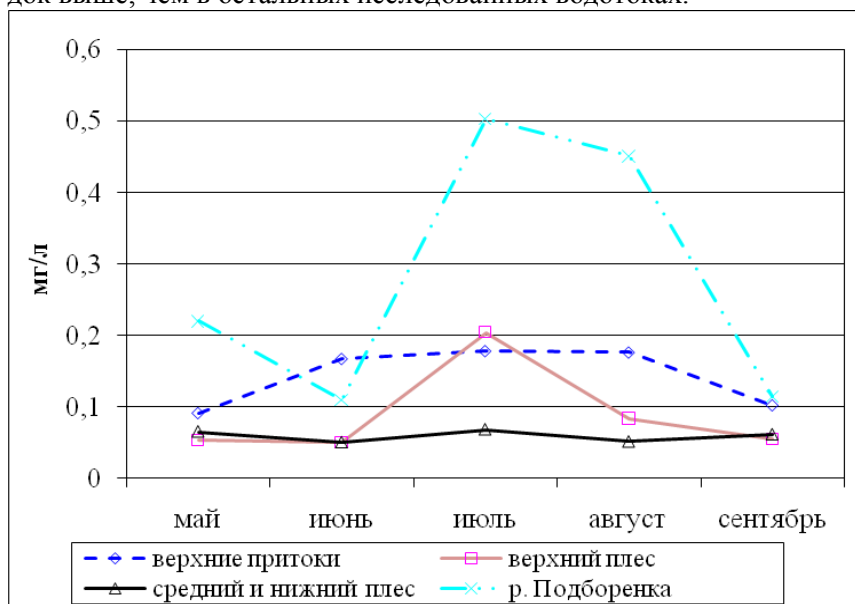


Рис. 15. Сезонная динамика среднего содержания фосфат-иона в поверхностных слоях разных частей акватории Ижевского водохранилища и на приустьевых участках его основных притоков

Следует отметить, что в начале августа 2010 года со стоком рек Подборенки и Пазелинки биологически доступный фосфор поступал в водохранилище преимущественно (на 83–85 %) в составе органических соединений, и на этот месяц пришелся сезонный максимум концентраций данного химического элемента в обоих притоках (табл. 3). То же самое в целом можно сказать и в отношении августовских показателей в створе реки Иж, расположенном выше устья реки Люк. Учитывая особенности расположения водосборных бассейнов данных малых рек, логично предположить, что основной вклад в загрязнение Ижевского водохранилища фосфорсодержащими веществами, поступающими через эти притоки, в безосадковый летний период вносили коммунально-бытовые объекты, не имеющие отвода канализационных стоков на очистные сооружения и выпускающие свои сточные воды непосредственно

в водотоки или на рельеф водосбора без очистки. Это, в частности, многие сельские населенные пункты, коттеджные и дачные массивы, детские лагеря, базы отдыха и другие объекты малоэтажной рекреационной застройки с временным проживанием населения в теплый период года, особенно «нагруженные» в июле-августе.

Таблица 3

Сезонная динамика концентраций разных форм фосфора в основных притоках Ижевского водохранилища на «входе» и в реке Иж на «выходе» из водоема в 2010 году

	Водотоки	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Фосфор общий, мг/л	Иж (выше устья Люка)	—	0,053	0,060	0,141	0,030
	Люк	—	0,076	0,065	0,093	0,051
	Пазелинка	—	0,069	0,069	0,113	0,031
	Подборенка	—	0,039	0,157	0,900	0,035
	Иж (выпуск из пруда)	—	0,022	0,042	≈ 0,0	≈ 0,0
В т. ч. фосфор ортофосфатный, мг/л	Иж (выше устья Люка)	0,024	0,053	0,060	0,069	0,023
	Люк	0,035	0,062	0,065	0,086	0,051
	Пазелинка	0,030	0,048	0,049	0,017	0,016
	Подборенка	0,072	0,036	0,157	0,147	0,035
	Иж (выпуск из пруда)	0,020	0,016	0,034	≈ 0,0	≈ 0,0
В т. ч. фосфор органический, мг/л	Иж (выше устья Люка)	—	≈ 0,0	≈ 0,0	0,072	0,007
	Люк	—	0,014	≈ 0,0	0,007	0
	Пазелинка	—	0,021	0,020	0,096	0,015
	Подборенка	—	0,003	≈ 0,0	0,753	≈ 0,0
	Иж (выпуск из пруда)	—	0,006	0,006	≈ 0,0	≈ 0,0

В то же время со стоком реки Люк соединения фосфора поступали преимущественно в виде растворенных ортофосфатов, причем их содержание в данном водотоке после дождей в начале июня и начале сентября 2010 года было больше, чем в остальных притоках водохранилища (табл. 3, рис. 16). Исходя из этого, можно предположить, что основными источниками поступления фосфора в реку Люк в эти месяцы были прилегающие сельскохозяйственные

территории, в первую очередь, поля, удобряемые минеральными фосфорсодержащими веществами, откуда осуществлялся неорганизованный сток — поверхностный смыв с дождевыми водами в русло водотока.

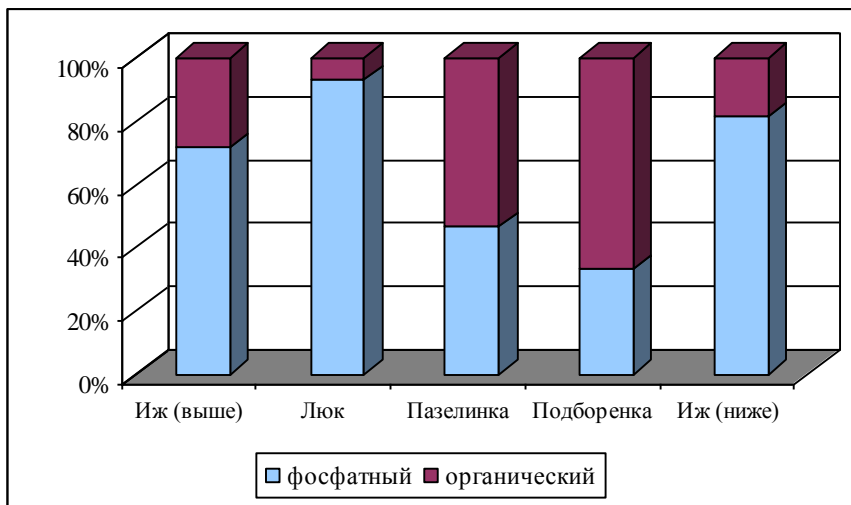


Рис. 16. Соотношение среднесезонного содержания двух биологически доступных форм фосфора в основных притоках Ижевского водохранилища на «входе» и в реке Иж на «выходе» из водоема в 2010 году

Ориентировочный расчет ежемесячных объемов поступления фосфора в Ижевское водохранилище с реками-притоками, который был произведен нами с использованием литературных данных о средних величинах годового стока 95-процентной обеспеченности для данных водотоков и о внутригодовом распределении этого стока по месяцам в процентном соотношении (Своекошин, 2002а, 2002б), показал, что с мая по сентябрь больше всего было внесено этого биогенного элемента в водоем со стоком реки Иж (табл. 4). В то же время и основной вынос фосфора из водохранилища происходит с рекой Иж — непосредственно через плотину в нижний бьеф (особенно в апреле-мае), а также через системы водозабора и водоснабжения ОАО «Ижсталь» и МУП «Ижводоканал» с отработанными промышленными и коммунально-бытовыми сточными водами, выпуски которых в реку расположены ниже плотины пруда. В 2010 году, в связи с аномальной жарой и почти полным отсутствием дождей в течение 50 дней июля-

августа, попуск воды из Ижевского водохранилища через затворы плотины в нижний бьеф был снижен практически до нуля, вследствие чего в августе-сентябре основной вынос фосфора из водоема, по-видимому, был связан лишь с забором воды в системы городского коммунального и промышленного водоснабжения. Часть изъятая с водой объема фосфора возвратилась обратно в водохранилище со сбросом промывных вод с фильтров головных очистных сооружений МУП «Ижводоканал» через речку Подборенку.

Таблица 4

Внешний приходно-расходный баланс фосфора в Ижевском водохранилище и изменение его содержания в поверхностных слоях водоема с мая по сентябрь 2010 года

Годовой сток воды 95-процентной обеспеченности (млн м ³)		Внутригодовое распределение стока по месяцам, %				
		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
		22,0	5,6	4,3	3,0	3,1
		Среднемесячный вынос фосфора, т				
Иж (на «входе»)	133,6	0,705	0,389	0,299	0,565	0,124
Люк	29,7	0,229	0,126	0,082	0,083	0,047
Пазелинка	6,62	0,040	0,026	0,020	0,023	0,006
Подборенка	1,23	0,019	0,003	0,008	0,033	0,001
Иж (на «выходе»)	155,9	0,686	0,192	0,282	≈ 0,0	≈ 0,0
Суммарный городской водозабор (6,5 млн. м ³ воды в месяц)		0,118	0,136	0,398	0,678	0,165
Приход фосфора, т		0,997	0,544	0,581	0,702	0,178
Расход фосфора, т		0,804	0,328	0,680	0,678	0,165
Внешний баланс фосфора, т		+0,193	+0,216	−0,099	+0,026	+0,013
Содержание фосфора в поверхностном слое воды толщиной 1 м, т		0,534	0,781	1,684	1,634	1,048
Прирост фосфора за месяц в этом слое, т		–	+0,247	+0,903	−0,050	−0,586

В целом, согласно произведенным нами расчетам, внешний приходно-расходный баланс фосфора Ижевского водохранилища за вегетационный сезон 2010 года был положителен (табл. 4), в основном за счет эффективного удержания водной экосистемой поступающих с водозабора объемов этого биогенного элемента в конце

весны и начале лета — в период активизации продукционных процессов водоема. Предполагаем, что наибольшие значения объемов месячного поступления фосфорсодержащих соединений с притоками с территории водосбора могли бы быть отмечены в апреле — в период интенсивного снеготаяния и следующего за этим весеннего половодья с максимальными значениями расходов воды в реках, несмотря на сравнительно невысокие вследствие разбавления таковыми водами концентрации растворенного неорганического фосфора. Последнее мы можем утверждать, исходя из результатов химического анализа воды некоторых рек-притоков Ижевского пруда в марте-апреле 2009 года, проведенного АУ «Управление Минприроды УР» (неопубликованные архивные данные). В свою очередь, вымывание фосфора из водоема происходит также в основном в виде растворенных ортофосфатов (рис. 16) и, вероятно, наиболее велико в период искусственной предполоводной сработки уровня воды в водохранилище в конце зимы — начале весны.

Произведенный нами расчет составляющих внешнего приходно-расходного баланса фосфора Ижевского водохранилища следует считать приблизительным, так как реальные гидрологические характеристики его основных притоков в маловодном 2010 году могли несколько отличаться от имеющихся в литературе средних многолетних количественных данных по маловодным годам 95-процентной обеспеченности, использованных нами для оценки ежемесячных объемов «приходящего» и «выходящего» фосфора. К тому же для большей надежности подобной оценки необходимо отслеживать изменение содержания фосфора в воде не один, а 2–4 раза в месяц (Даценко, 2007). Тем не менее, с учетом относительной стабильности полного объема водохранилища на отметках НПУ с мая по сентябрь и дополнительного поступления фосфора с береговым смывом и малыми ручьевыми притоками, которые не были нами исследованы, положительное «сальдо» внешнего баланса фосфора за пять теплых месяцев 2010 года не вызывает у нас серьезного сомнения.

Как было отмечено выше, на удерживающую способность водной экосистемы Ижевского водохранилища в отношении фосфора в поздневесенне-летний период мог повлиять характер биологических продукционных процессов, происходивших в пелагиали и на литорали водоема в это время. Оценивая суммарное содержание общего фосфора в поверхностном слое воды (в том числе и

в составе планктона), можно отметить, что оно нарастает с конца весны и достигает максимума в середине лета (табл. 4). Причем ежемесячные приросты общей массы фосфора в верхних слоях воды в это время выше, чем его ежемесячные поступления в водохранилище с речным стоком (с учетом расходов на выпуске и водозаборах). Это означает, что в водоеме существуют внутренние резервы биологически доступных соединений фосфора, которые с мая по июль могут вовлекаться в гидробиохимический круговорот верхней пелагиали и к середине лета существенно увеличивать суммарный уровень фосфорной нагрузки. По нашему мнению, основные запасы органического фосфора Ижевского водохранилища содержатся в биогенных донных отложениях, которые накапливаются на дне в результате периодического отмирания биомасс отдельных групп водных организмов с последующей седиментацией взвешенных органических остатков, а также аккумулируются на отдельных участках водоема (особенно вблизи устьев притоков) в виде аллохтонной почвенно-растительной органики, принесенной речным стоком и береговым смывом с территории водосбора. Растворенная часть неорганического фосфора может осаждаться в донные отложения в виде нерастворимых соединений фосфатов с окисленными формами переходных металлов, а также за счет адсорбции на мелкодисперсных частицах донного грунта.

Процессы отмирания биомассы короткоциклового пелагического водных организмов в Ижевском пруду усиливались во второй половине лета и сопровождалась уменьшением суммарного содержания фосфора в верхних слоях пелагиали (табл. 4): прежде всего за счет его механического осаждения в придонные слои и на дно в составе органических взвесей. В то же время активная минерализация отмершей органики на дне достаточно мелководных и прогреваемых участков водоема, вероятно, могла приводить к локальному повышению содержания растворенных ортофосфатов в поверхностных слоях воды в середине-конце лета за счет динамического перемешивания в ветреные дни или вертикальной конвекции при похолодании. Известно, что на глубоких и слабо прогреваемых участках озер и водохранилищ аккумуляция фосфорсодержащих органических и неорганических соединений в донном грунте может носить менее обратимый характер при благоприятном кислородном режиме в придонных слоях воды (Хатчинсон, 1969; Мартынова, 1984; Даценко, 2007). Как показали исследования 2010 го-

да, в Ижевском водохранилище подобное условие не всегда и не везде выполняется: в жаркие и маловодные летние месяцы этого года в нижней части водоема существовали относительно устойчивые зоны гипolimниона с дефицитом кислорода и высвобождением подвижных фосфатов из донных отложений. Наличие гипolimниона, скорее всего, было связано с временным отсутствием промыва придонных слоев водохранилища в нижний бьеф в период экстремально низких значений прихода воды с территории водосбора и ее расходом почти исключительно на водозабор и испарение без пропуска через затворы плотины в условиях необходимости поддержания стабильного НПУ и избегания дефицита городского водоснабжения. Около двух летних месяцев 2010 года Ижевский пруд был практически бессточным водоемом.

Кроме того, по нашим наблюдениям, в сентябре на зарастающих литоральных участках Ижевского водохранилища, суммарная площадь которых в августе составляла от четверти до трети всей акватории, активизировалось отмирание биомассы макрофитов, что было связано с окончанием периода их вегетации. Учитывая способность многих видов гелофитов и гидрофитов избирательно поглощать макро- и микроэлементы из водной среды и накапливать их в больших количествах в составе своей фитомассы (Якубовский и др., 1975; Кокин, 1982; Капитонова, 2007), можно полагать, что при ее отмирании и последующем разложении на дне водоема эти химические элементы, и фосфор в том числе, будут постепенно возвращаться в воду и участвовать во вторичном загрязнении водоема осенью или следующей весной. Считаем, что вклад отмирающей биомассы высшей водной растительности Ижевского пруда в обеспечение суммарных объемов внутренней фосфорной нагрузки на водоем весьма значительный и требует отдельной количественной оценки.

Итоги изучения гидрохимических и гидробиологических характеристик Ижевского водохранилища в 2010 году показали, что наблюдаемые в пределах его акватории летне-осенние «вспышки» численности синезеленых водорослей с доминированием *P. agardhii* тесно связаны с высокой общей биогенной нагрузкой на данный водоем, в первую очередь, в части поступления в толщу воды биологически доступных соединений фосфора. Вклад различных внешних и внутренних источников биогенного загрязнения в усиление процессов эвтрофирования водной экосистемы Ижев-

ского пруда неодинаков. Для выявления приоритетных путей и способов поступления фосфорсодержащих веществ в пелагиаль водоема в разные сезоны и на разных участках водохранилища необходимо было продолжить специальные и целенаправленные исследования основных структурно-функциональных компонентов его экосистемы. Поэтому следующая задача наших дальнейших исследований в 2011 году состояла в том, чтобы оценить вклад донных отложений и водных макрофитов в процесс эвтрофирования Ижевского водохранилища и выяснить характер связи этих компонентов водоема с круговоротом фосфора в водной экосистеме.

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2011 ГОДУ

5.1. Загрязнение воды и внутренняя фосфорная нагрузка на Ижевское водохранилище в конце зимы

Химический анализ проб воды, взятых в Ижевском водохранилище в середине февраля 2011 года, выявил существенные различия в содержании ряда загрязняющих веществ на русловых и прибрежных участках водоема (прил. 7.1–7.5; 9.1). Так, в конце зимы в русловой части водохранилища в поверхностных слоях воды наблюдалось превышение санитарно-гигиенических нормативов ПДК по трем показателям: марганцу (в среднем в 3,4 раза), меди (в среднем в 2,4 раза) и ХПК (в среднем в 1,2 раза). В то же время в прибрежной части водоема наряду с указанными выше превышениями отмечено также повышенное содержание железа (в среднем 3,1 ПДК), аммония (в среднем 1,6 ПДК), цветности (в среднем 1,3 ПДК) и снижение прозрачности в среднем до 20 см. Кроме того, на некоторых мелководных участках правобережной части акватории Ижевского пруда в конце зимы было зарегистрировано существенное снижение содержания растворенного кислорода (до 1–2 мг/л) и возрастание показателя БПК до уровней 1,6–3,3 ПДК. Это было характерно, в первую очередь, для устья реки Шабердинки (пункт 7н) и места выхода сбросного канала ТЭЦ-1 (пункт 2н). В устье реки Подборенки в этот период отмечено превышение содержания хлоридов (1,5 ПДК) и растворенных фосфатов (1,2 ПДК).

Следует отметить, что по сравнению с поверхностными слоями воды русловых участков Ижевского водохранилища в прибрежье водоема в феврале 2011 года содержание взвешенных веществ в среднем было выше в 20 раз, марганца — в девять раз, фосфат-иона — в шесть раз, нитрат-иона — в пять раз, общего фосфора, аммония, железа и БПК — в три раза, ХПК — в два раза (рис. 17, 18). К тому же на семи прибрежных участках значения концентраций фосфатов, аммония, общего фосфора, показателей БПК и ХПК в конце зимы были связаны между собой положительной и статистически значимой на уровне $\alpha = 0,05$ корреляцией ($R_s = 0,83–0,94$), что может свидетельствовать о единстве происхождения этих загрязняющих ингредиентов.

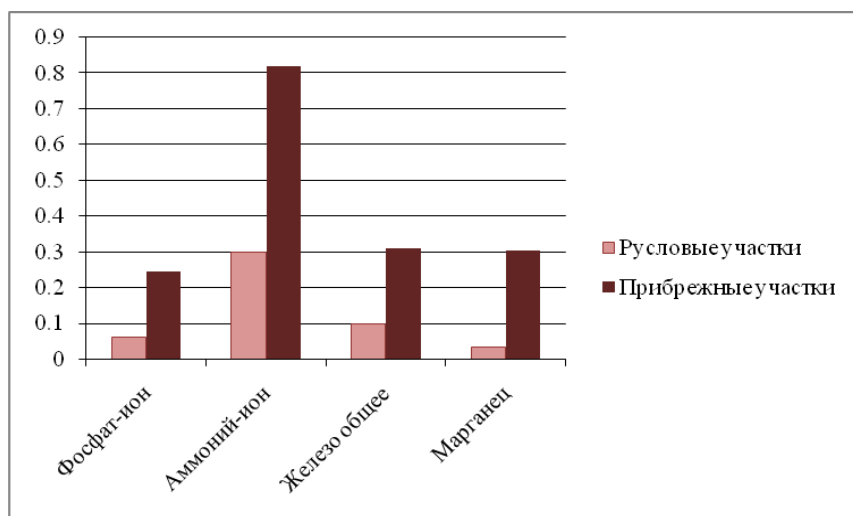


Рис. 17. Среднее содержание фосфатов, аммония, железа общего и марганца (мг/л) в поверхностных слоях воды на русловых и прибрежных участках Ижевского водохранилища в феврале 2011 года

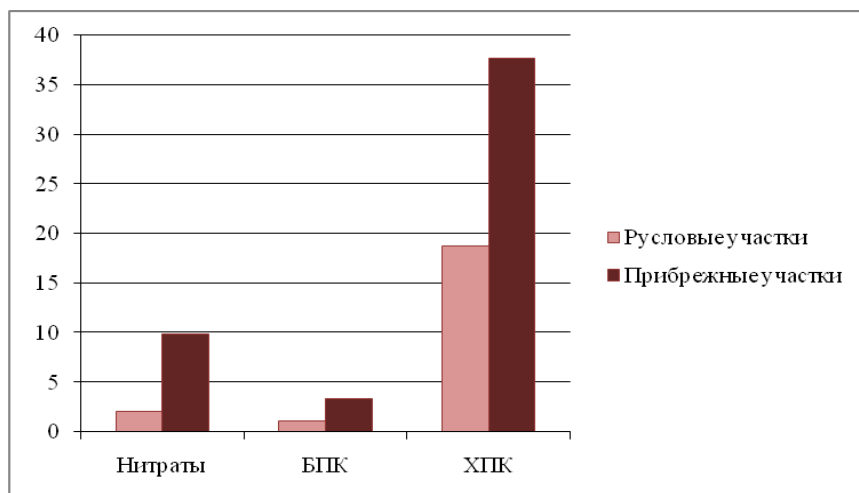


Рис. 18. Среднее содержание нитратов и средние значения показателей БПК и ХПК (мг/л) в поверхностных слоях воды на русловых и прибрежных участках Ижевского водохранилища в феврале 2011 года

По нашему мнению, основным источником загрязнения воды мелководных участков Ижевского водохранилища в зимний

период могли стать прибрежные донные отложения, в которых происходило постепенное разложение накопленной с осени отмершей растительной и отчасти животной органики, сопровождавшееся высвобождением в толщу воды ряда биогенных веществ — неорганических соединений азота и фосфора, а также недоразложившихся низкомолекулярных органических соединений, содержание в воде которых повлияло на величину показателей БПК и ХПК. Подтверждением этому может служить выявленная нами статистически значимая отрицательная корреляция значений концентраций общего фосфора в воде и в донных отложениях исследованных прибрежных участков водоема в конце зимы ($R_s = -0,83$). На тех участках, где концентрации общего фосфора в донных отложениях были наименьшие (пункты *1n* и *7n*), наблюдалось максимальное его содержание в толще воды, и наоборот. При этом общий фосфор в толще воды прибрежных участков был в зимнее время более чем на 80 % представлен неорганической формой в составе растворенных ортофосфатов. Таким образом, достаточно медленные зимние деструкционные процессы в мелководных донных отложениях, содержащих органические остатки отмерших в конце предыдущего вегетационного сезона организмов, могли привести к постепенному накоплению в воде прибрежных участков водохранилища растворенных фосфатов, а также ионов аммония, которые в благоприятных кислородных условиях далее могли окисляться в нитриты и нитраты.

В свою очередь, кислородный режим на прибрежных мелководьях Ижевского водохранилища в зимний период во многом зависел от наличия участков поверхности водоема, свободной ото льда (полыней). Там, где подобные участки отсутствовали, содержание растворенного кислорода к концу зимы уменьшалось из-за того, что он в значительной мере расходовался на аэробное разложение органических веществ. В нашем случае в пробах воды, которые были отобраны в пунктах *2n*, *4n* и *7n* из-под льда в местах, где полыньи отсутствовали, концентрации растворенного кислорода были значительно снижены (до 1–5 мг/л), и при этом здесь отмечались наиболее высокие показатели восстановленных соединений азота (аммония) и подвижного железа (прил. 7.1). В то же время пробы воды, которые были взяты в пунктах *1n* и *5n* непосредственно с водной поверхности в полыньях, образованных из-за впадения незамерзающих городских притоков, содержали наибольшие кон-

центрации растворенного кислорода (12–13 мг/л) и окисленных соединений азота — нитратов. Можно добавить, что максимальные концентрации растворенных неорганических соединений фосфора и азота в феврале 2011 года были отмечены нами в пункте *In* — в устье реки Подборенки, что связано не только с высвобождением данных биогенов из прибрежных донных отложений, но и с повышенным поступлением их на данный участок водохранилища извне с водосборной территории г. Ижевска — со стоком наиболее загрязненного городского водотока.

Таким образом, наиболее вероятно, что накопление растворенных биогенных веществ в толще воды прибрежных участков Ижевского водохранилища в конце зимы могло явиться следствием постепенного разложения остатков организмов фито- и зоопланктона, а также водных макрофитов, биомасса которых отмерла в конце предыдущего вегетационного сезона и осела на дно. Расхождение кислорода на аэробное разложение органики в подледных условиях, в свою очередь, могло привести на застойных мелководьях к его дефициту, уменьшению редокс-потенциала водной среды, восстановлению из состава донных отложений подвижных ионов железа и марганца и высвобождению фосфатов, связанных с окисленными формами этих металлов. Подобный процесс, вероятно, происходил зимой и на более глубоких русловых участках водохранилища, где выделявшиеся из донных отложений растворенные химические соединения при отсутствии стратификации воды могли отчасти конвекционно подниматься в верхние слои, а также адвекционно перемещаться вниз по руслу, постепенно вымываясь через плотину водоема в нижний бьеф. При этом накопленные за зиму в прибрежных и придонных слоях воды биологически доступные соединения азота и фосфора весной после вскрытия ледового покрова послужили одной из причин быстрого наращивания биомассы фитопланктона в водоеме, особенно на его мелководьях. Тем самым содержание биогенов в толще воды Ижевского пруда в конце зимы перед началом вегетационного сезона рассматривается нами, в первую очередь, как проявление внутренней биогенной нагрузки на водоем, которая в период минимальных зимне-меженных расходов воды в его притоках могла значительно превышать внешнюю. В отношении общего фосфора эта нагрузка была приблизительно оценена нами следующим образом.

В качестве исходных данных мы использовали средние значения содержания общего фосфора на исследованных участках Ижевского водохранилища в феврале 2011 года, составлявшие в прибрежье 0,088 мг/л, а в поверхностных слоях воды глубоководных русловых участков 0,025 мг/л, предполагая, что в придонных слоях этих участков концентрация общего фосфора была в среднем аналогична прибрежным концентрациям данного элемента (прил. 9.1). Площадь мелководных участков водоема с глубинами от 0 до 2 м (средняя глубина 1 м) составляет при НПУ около 7 км² (Своекошин, 2002б), на оставшуюся часть акватории с глубинами от 2 до 12 м (средняя глубина 6 м) приходится 19,4 км². Исходя из этого, внутренняя фосфорная нагрузка на водоем в конце зимы 2011 года была эквивалентна 7,2 т общего фосфора, находящегося в толще воды преимущественно в составе неживого вещества. В пересчете на 1 м² водного зеркала показатели биогенной нагрузки в Ижевском водохранилище составляли около 0,27 г фосфора, поступившего в толщу воды за зимний период. Это может характеризовать водохранилище в данное время года как эвтрофный водоем, так как для мезотрофных водоемов озерного типа со средней глубиной около 3,5 м суммарная (внешняя и внутренняя) нагрузка общего фосфора не должна превышать 0,1 г на 1 м² за год, согласно графику Р.А. Фолленвайдера (Vollenveider, 1975).

Нужно учесть, что в марте-апреле происходит значительное обновление водных масс в пелагиали Ижевского водохранилища за счет предположенной сработки части объема воды в нижний бьеф плотины и последующего приема большого количества водных масс, поступающих в водоем с притоками в период весеннего половодья. При этом обновляется более 50 % объема воды водохранилища, а вместе с ним и количество биогенных веществ, часть из которых преимущественно в растворенном виде вымывается в первой половине весны в реку Иж ниже плотины. Наоборот, другая часть биогенов в качестве компенсации поступает в водоем с талыми водами с водосбора через притоки и береговой смыв. Расчет внешнего приходно-расходного баланса фосфора Ижевского водохранилища в марте-апреле, проведенный на основе имеющихся в литературе данных о среднегодовых расходах воды 95-процентной обеспеченности и внутригодовом распределении стока по месяцам в реке Иж (выше и ниже водохранилища) и в малых реках-притоках Люк, Пазелинка и Подборенка (Своекошин, 2002а)

с привлечением результатов химического анализа содержания растворенных фосфатов в этих реках в конце марта и начале апреля (неопубликованные архивные данные АУ «Управление Минприроды УР» от 2009 года), позволяет оценить его как отрицательную величину, приблизительно составляющую около $-0,2$ т растворенного неорганического фосфора, вымытого в нижний бьеф. В то же время результаты нашего расчета внешнего приходно-расходного баланса фосфора после половодья в мае и июне по данным 2010 года были положительными и в среднем составляли около $0,2$ т в месяц биологически доступного фосфора, поступающего в Ижевский пруд с основными реками-притоками и вовлекающегося в его продукционные процессы (см. разд. 4.4).

Таким образом, даже принимая во внимание приблизительность произведенных расчетов и некоторые межгодовые различия в водном балансе, можно сделать вывод о том, что внешняя фосфорная нагрузка на экосистему Ижевского водохранилища, обусловленная поступлением биологически доступных соединений фосфора с водосбора весной и в начале лета, в сумме значительно меньше, чем внутренняя фосфорная нагрузка, связанная с высвобождением растворимых соединений фосфора из донных отложений водоема к концу зимы — началу весны. Именно эти фосфорсодержащие вещества могут обеспечивать наращивание первичной продукции в экосистеме водохранилища в течение последующего вегетационного сезона. В первую очередь, это касается синезеленых водорослей, у которых связь количественных показателей с содержанием в толще воды фосфат-ионов и общего фосфора была оценена нами ранее по итогам исследований 2010 года как статистически значимая.

5.2. Динамика биомассы продуцентов и содержания биогенных веществ в Ижевском водохранилище в летне-осенний период

Как и в 2010, в 2011 году массовое развитие фитопланктона в Ижевском водохранилище в начале вегетационного сезона (май-июнь) было обусловлено наращиванием биомассы некоторых видов диатомовых водорослей — в первую очередь, из рода *Stephanodiscus*. И лишь к середине лета синезеленые водоросли, преимущественно за счет *P. agardhii*, начинали преобладать в составе

планктонных сообществ водоема не только по численности, но и по биомассе (рис. 19; прил. 8.1–8.2).

Возможно, подобная смена видов-доминантов в составе весенне-летнего фитопланктона водохранилища была связана с существенным изменением в течение вегетационного сезона соотношения концентраций биологически доступных форм азота и фосфора, которые являются основными химическими факторами, лимитирующими первичную продукцию фитопланктона (Левич и др., 1997). Так, в середине мая 2011 года соотношение $[N_{\text{неорг}}] : [P_{\text{неорг}}]$ в среднем по Ижевскому пруду составляло около 41 : 1 (рис. 20). В это время содержание нитратной формы азота в толще воды было достаточно высоко, и именно оно могло стимулировать развитие массовых планктонных видов диатомовых водорослей: связь значений концентрации нитрат-иона и биомассы диатомей для семи прибрежных участков в мае была оценена нами как положительная и статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ ($R_s = 0,85$).

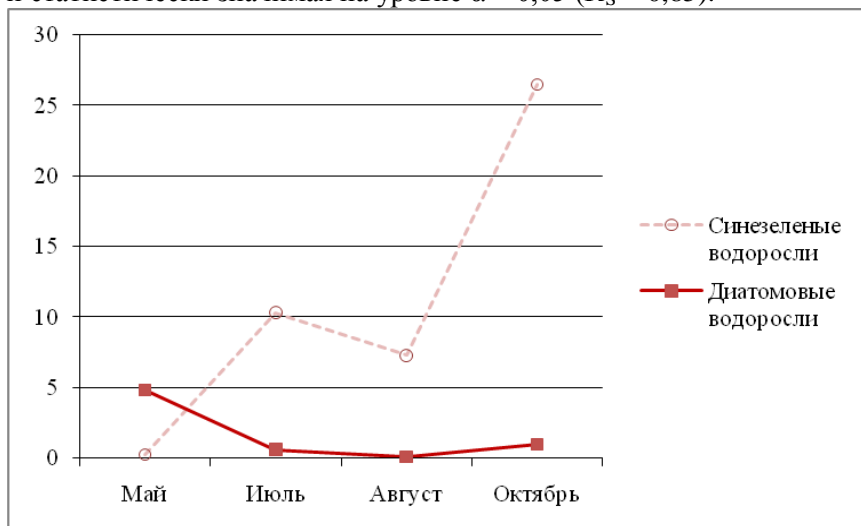


Рис. 19. Сезонная динамика средней биомассы (мг/л) диатомовых и синезеленых водорослей на прибрежных участках Ижевского водохранилища в 2011 году

К началу июля соотношение $[N_{\text{неорг}}] : [P_{\text{неорг}}]$ в воде Ижевского водохранилища снизилось до уровня 18 : 1, как за счет значительного уменьшения концентрации растворенных нитратов (в пять раз) на фоне некоторого повышения содержания ионов аммо-

ния, так и за счет увеличения содержания растворенных фосфатов (прил. 9.1). В условиях снижения соотношения растворенных форм неорганического азота и фосфора цианопрокариоты становятся более конкурентоспособными по сравнению с эукариотическими водорослями (Михеева, 1983; Трифонова, 1990; Левич и др., 1997). Как следствие, к середине лета синезеленые водоросли постепенно вытеснили диатомовых с доминирующих позиций в составе фитопланктона Ижевского водохранилища и не дали возможности теплолюбивым группам зеленых водорослей нарастить сопоставимую по значениям биомассу. Так, по сравнению с маем в июле 2011 года биомасса диатомей уменьшилась в среднем по водоему в восемь раз, тогда как биомасса синезеленых водорослей за этот же период, наоборот, увеличилась в 35 раз, в основном за счет *P. agardhii*, а биомасса зеленых — в семь раз (прил. 8.1–8.2, 9.2).

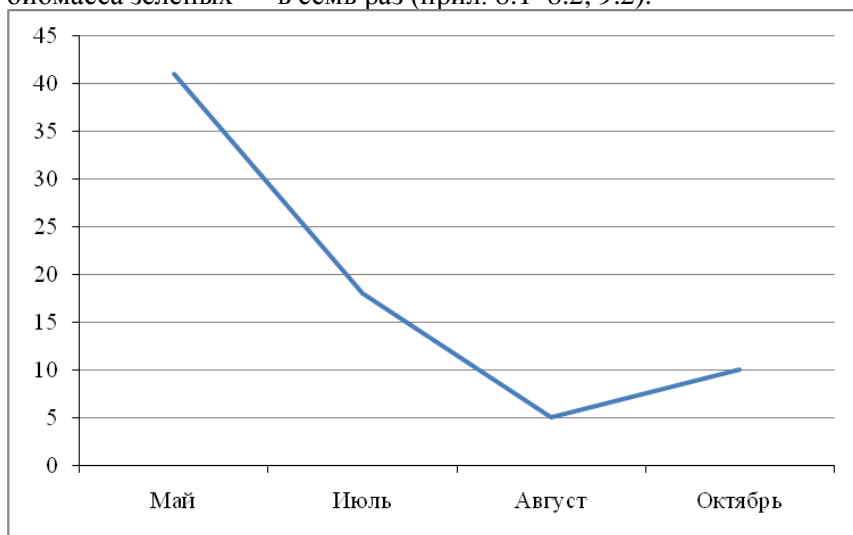


Рис. 20. Сезонная динамика среднего соотношения концентраций неорганических форм азота и фосфора в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища в 2011 году

В июле 2011 года по сравнению с маем содержание общего фосфора увеличилось не только в толще воды Ижевского водохранилища, но и на дне большинства исследованных прибрежных участков. Это увеличение сопровождалось высокой и статистически значимой на уровне $\alpha = 0,05$ положительной корреляцией ($R_S = 0,96$): на тех участках, где содержалось больше фосфора в воде, там

его было больше и в донных отложениях. Вследствие этого можно предположить, что источник поступления фосфора и в толщу воды, и в донные отложения на разных участках водохранилища был один и тот же и имел в меженный период начала-середины лета автохтонное происхождение. Таким внутренним источником биологически доступного фосфора для экосистемы водоема в этот период могло стать только органическое вещество отмершей и постепенно разлагающейся биомассы весеннего фитопланктона, который был представлен в Ижевском водохранилище преимущественно диатомовыми водорослями.

Косвенным подтверждением данного предположения может служить высокая положительная корреляция значений биомассы диатомей в мае и показателя БПК в июле в воде семи прибрежных участков Ижевского водохранилища ($R_s = 0,71$), а также статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ отрицательная корреляция показателя БПК и содержания общего фосфора в воде в июле ($R_s = -0,63$), рассчитанная нами для всех 12 контрольных участков. Об этом же мог свидетельствовать и тот факт, что в составе общего фосфора пелагиали доля растворенных ортофосфатов к середине лета 2011 года снизилась и составила менее половины (рис. 21), тогда как доля органического фосфора закономерно выросла.

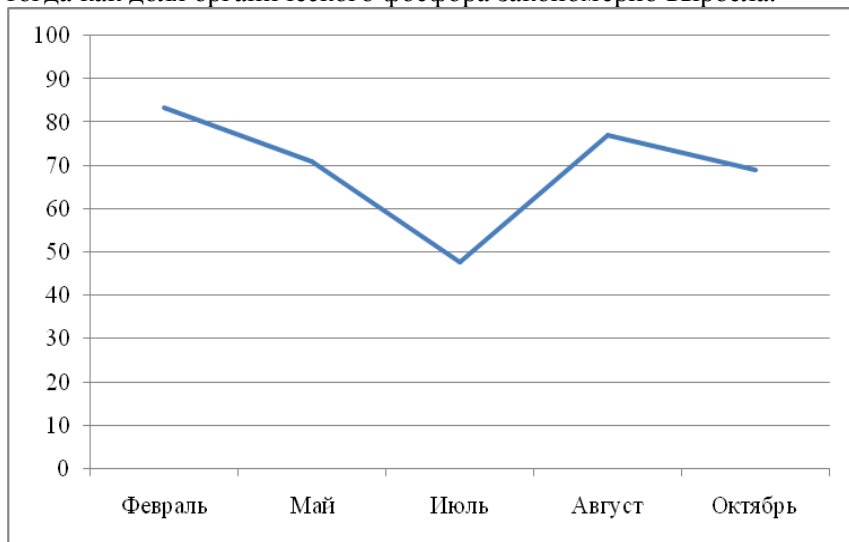


Рис. 21. Сезонная динамика доли подвижного неорганического фосфора (в %) в составе общего фосфора, содержащегося в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища в 2011 году

Увеличение относительного и абсолютного содержания фосфорорганических соединений в толще воды водохранилища с мая по июль могло быть обусловлено как прижизненным выделением РОВ пелагическими продуцентами и разложением их мертвых клеток, так и предварительным их поглощением и усвоением пелагическими консументами (зоопланктоном) с последующим выделением экскрементов и иных экзометаболитов, содержащих органический фосфор. Вклад внешней биогенной нагрузки в процесс пополнения запасов органического фосфора Ижевского пруда в это время оценивается нами в целом по водоему как второстепенный с учетом низких меженных расходов воды его основных притоков в середине лета и относительно невысокого содержания органических веществ в их летнем стоке (БПК в пределах 2,0–2,5 мг O_2/l). Исключение, вероятно, может составлять река Подборенка, где в июле-августе прошлого 2010 года наблюдалось превышение санитарно-гигиенических нормативов по БПК почти в два раза и были весьма высоки августовские концентрации органического фосфора (табл. 3).

Отмирание и разложение органической составляющей весенних диатомовых водорослей в летний период могло идти с разной интенсивностью на верхних и нижних участках Ижевского водохранилища. Так, в июле 2011 года в верхнем плесе и у Юровского мыса большая часть легко разлагаемых органических соединений в это время могла уже минерализоваться за счет бактериальной аэробной деструкции, о чем свидетельствовали максимальные концентрации ортофосфатов и аммония и, наоборот, пониженные значения показателей БПК, ХПК и содержания растворенного кислорода на верхних участках пруда. В то же самое время в средней и нижней частях водоема концентрация растворенных фосфатов была в среднем в два раза ниже, а показатели БПК и содержания кислорода — в полтора раза выше, чем в верхнем плесе (рис. 22, 23). Подобная тенденция отмечалась нами и в июле предыдущего года. Выявленные различия могли быть обусловлены неодинаковыми температурными условиями отмирания и разложения биомассы весеннего фитопланктона в верховьях и на нижележащих участках водохранилища, которые опосредованы, в частности, различиями средних значений глубин в его разных плесах. Широко известна прямая и сильная зависимость скорости деструкции орга-

нического вещества в пресноводных экосистемах от температуры воды (Алексеев и др., 1992; Минеева, 2009 и др.).

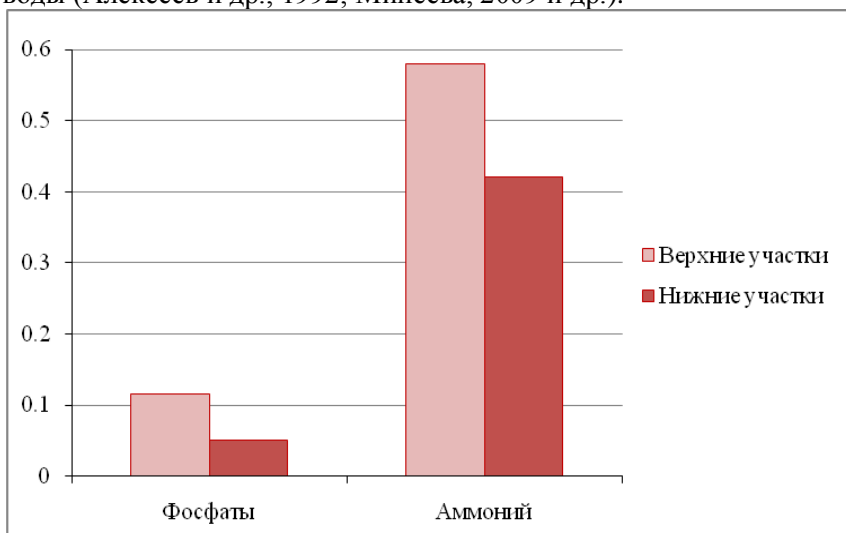


Рис. 22. Среднее содержание растворенных фосфатов и ионов аммония (мг/л) в поверхностных слоях воды на верхних и нижних участках Ижевского водохранилища в июле 2011 года

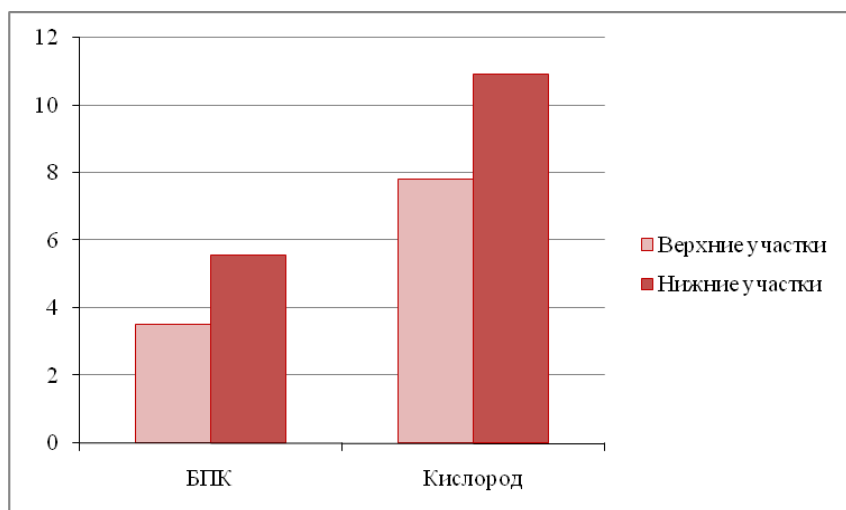


Рис. 23. Средние значения показателя БПК и содержания растворенного кислорода (мг/л) в поверхностных слоях воды на верхних и нижних участках Ижевского водохранилища в июле 2011 года

Нельзя исключить и роль водных макрофитов в обеспечении различий по ряду гидрохимических показателей на верхних и нижних участках Ижевского водохранилища в июле. Массово развивавшиеся на мелководных участках верхнего плеса и Юровского залива макрофиты к середине лета составили конкуренцию планктонным водорослям в плане потребления неорганических соединений азота и фосфора. Так, для июля 2011 года отмечена статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ положительная корреляция между содержанием растворенных фосфатов в воде прибрежных участков Ижевского пруда и значениями общей биомассы макрофитов ($R_s = 0,88$), а также между содержанием иона аммония в воде и значениями биомассы гелофитов этих же участков ($R_s = 0,93$). Данный факт может свидетельствовать о стимулирующей роли растворенных биогенных веществ в отношении вегетативного роста водных сосудистых растений в середине лета.

По литературным данным (Кокин, 1982; Константинов, 1986; Курашов, Крылова, 2013), пресноводные макрофиты способны аллелопатически подавлять различных представителей фитопланктона, проявляя тем самым свои конкурентные преимущества в «борьбе» за пищевые ресурсы водоема — растворенные биогенные вещества. Подобными свойствами обладают, в частности, некоторые виды погруженных и плавающих гидрофитов, встречающиеся с высокими показателями обилия на многих прибрежных участках верхнего плеса Ижевского водохранилища — роголистник погруженный (темно-зеленый) *Ceratophyllum demersum* L. и кубышка желтая *Nuphar lutea*. Последний вид макрофитов, обладающий широкими плавающими на поверхности воды листьями, создает также условия повышенного затенения в водной толще, подавляя тем самым наиболее светолюбивые группы планктонных водорослей.

Определенные антагонистические взаимоотношения между макрофитами Ижевского водохранилища и его летним фитопланктоном имели место, вследствие чего в июле 2011 года на интенсивно зарастающих высшей растительностью прибрежных участках верхнего плеса и Юровского залива водоема биомасса цианопрокариот была в среднем на 30 % меньше, чем на лежащих ниже прибрежных участках водоема, характеризующихся незначительной продуктивностью макрофитов, особенно погруженных гидрофитов

(прил. 8.2, 9.2). В июле предыдущего 2010 года подобные различия были меньше — в пределах 10 % (прил. 4.3, 6.2).

Не исключено, что именно усиление конкуренции за биогенные элементы с активно разрастающимися в акватории мелководий водными макрофитами привело в августе 2011 года к временному снижению средней биомассы синезеленых водорослей в полтора раза (прил. 8.2–8.3, 9.2). В этом месяце отмечалась статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ отрицательная корреляция между содержанием фосфатов в воде семи прибрежных участков и значениями общей биомассы макрофитов ($R_s = -0,89$), что может свидетельствовать об активном поглощении фосфора высшими водными растениями из толщи воды Ижевского водохранилища. В то же время средние значения концентраций растворенных ортофосфатов и общего фосфора в поверхностных слоях большей части акватории водохранилища в августе 2011 года возросли и достигли своего сезонного максимума (рис. 24). Исключением явились некоторые наиболее заросшие участки верхнего плеса Ижевского пруда (пункт 7н), где избыток фосфора, по-видимому, активнее всего поглощался макрофитами, вследствие чего содержание этого биогенного элемента здесь было снижено по сравнению с июльскими показателями, а биомасса некоторых доминирующих гидрофитов, в частности кубышки желтой, с июля по август, наоборот, выросла в полтора раза.

В свою очередь на средних и нижних мелководных участках водохранилища уже к августу было отмечено замедление вегетативного роста макрофитов и начало фазы отмирания их фитомассы (рис. 25). Это могло быть связано с нехваткой другого химического элемента питания, лимитирующего рост водных сосудистых растений, — азота. Так, содержание растворенных неорганических соединений азота (особенно нитратов) в водоеме к концу лета снизилось до минимума (рис. 26), и наименьшие значения их концентраций наблюдались именно в среднем и нижнем плесах Ижевского водохранилища (прил. 7.4, 9.1). На фоне повышения концентраций фосфатов в пелагиали водоема это, в свою очередь, привело к уменьшению соотношения $[N_{\text{неорг}}] : [P_{\text{неорг}}]$ в августе до минимального сезонного уровня 5 : 1.

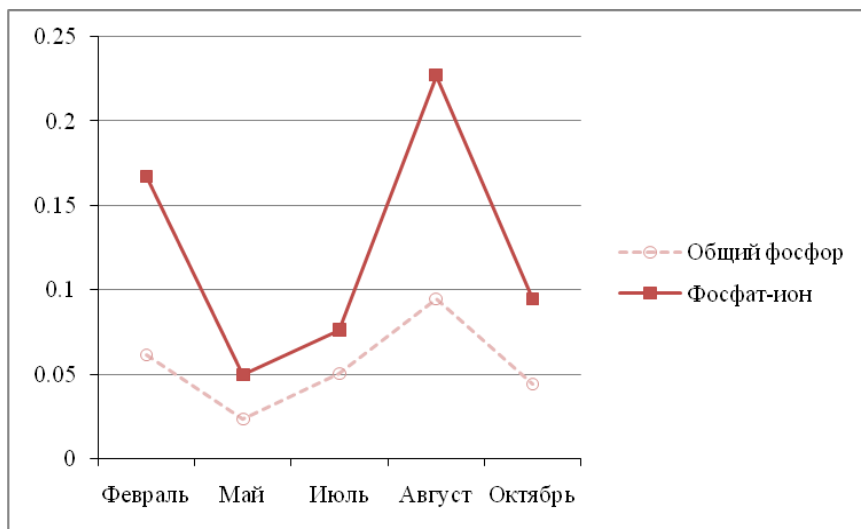


Рис. 24. Сезонная динамика среднего содержания общего фосфора и растворенных ортофосфатов (мг/л) в поверхностных слоях Ижевского водохранилища в 2011 году

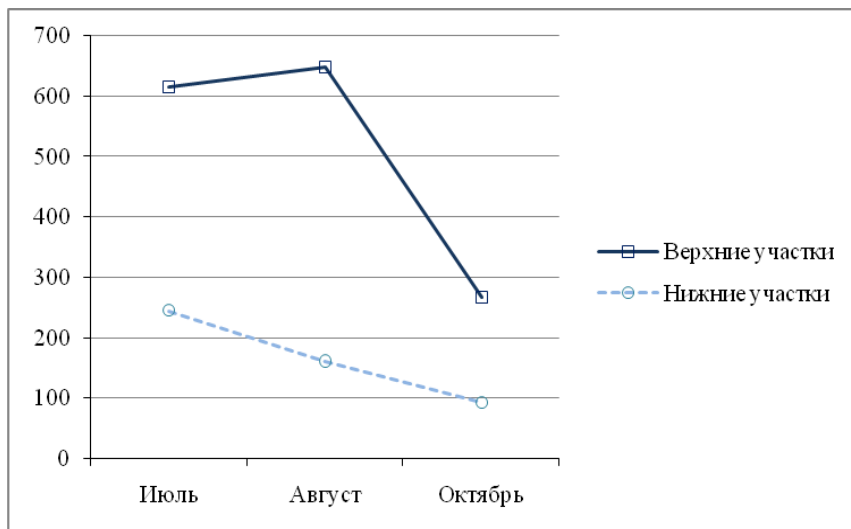


Рис. 25. Изменение средних значений воздушно-сухой биомассы (г/м^2) водных макрофитов на верхних и нижних прибрежных участках Ижевского водохранилища с июля по октябрь 2011 года.

Августовский максимум 2011 года сезонных концентраций растворенных фосфатов в поверхностных слоях Ижевского водохранилища связан, в первую очередь, с активным аэробным разложением биологически доступных органических веществ, наибольшее содержание которых в воде пруда было отмечено месяцем ранее и, как мы предполагаем, явилось следствием отмирания и разложения большей части биомассы весеннего фитопланктона. Подтверждением тому явилась положительная и статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ корреляция ($R_S = 0,59$) между августовскими значениями содержания ортофосфатов и июльскими значениями показателя БПК в воде на 12 участках водоема, а также статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ отрицательная корреляция ($R_S = -0,73$) между значениями содержания растворенных фосфатов и растворенного кислорода в толще воды на этих же участках в августе 2011 года.

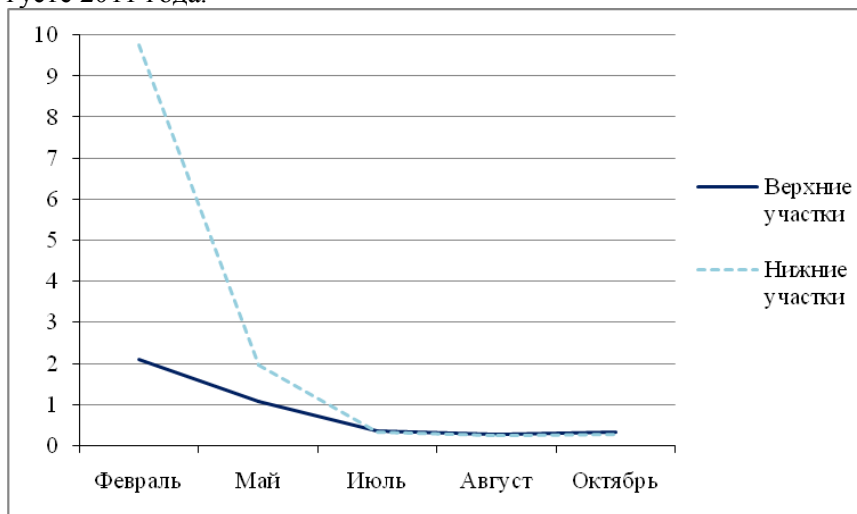


Рис. 26. Сезонная динамика среднего содержания нитратов (мг/л) на верхних и нижних участках Ижевского водохранилища в 2011 году

Месячный прирост массы общего фосфора в поверхностном слое воды Ижевского водохранилища глубиной до 1 м с июля по август 2011 года составил, по оценочным данным, около 1,2 т, причем практически полностью этот прирост был обеспечен подвижными фосфатами. За то же самое время суммарные потери сырой биомассы летнего фитопланктона в результате его отмирания составили для поверхностного слоя воды приблизительно 119,6 т, что

эквивалентно 0,1 т биологически доступного фосфора, высвобожденного в толщу воды в результате непосредственной деструкции мертвого органического вещества продуцентов, а также в процессе жизнедеятельности зоопланктонных организмов, предварительно усвоивших часть этого вещества в пастбищных или бактериально-детритных цепях питания. Массовое отмирание и разложение остатков самих организмов зоопланктона во второй половине лета могло привести к поступлению в пелагиаль и на дно водохранилища еще порядка 0,4–0,5 т фосфора (исходя из количественных данных прошлого 2010 года). Следует добавить к этому летние потери биомассы водных макрофитов в средней и нижней частях водоема, которые составили в 2011 году порядка 62,6 т воздушно-сухой фитомассы с учетом максимальной площади зарастания этих участков акватории, равной в сумме около 75 га. Это еще около 0,2 т фосфора, большая часть которого в процессе разложения органических соединений, входящих в состав растительного детрита, могла постепенно высвобождаться в воду в форме растворенных фосфатов.

Мы считаем, что прибрежные донные отложения Ижевского водохранилища, особенно его верхней части, временно аккумулируя к концу лета максимальные концентрации общего фосфора (рис. 27), могли выступать «посредником» в передаче этого химического элемента из состава биомассы погибших организмов и их частей, осажденных на дно, в пелагиаль водоема, куда он мог попадать снова в виде растворенных ортофосфатов после разложения на дне фосфорорганических соединений. Это подтверждено статистически значимой на уровне $\alpha = 0,05$ отрицательной корреляцией ($R_s = -0,79$) августовских значений содержания общего фосфора в донных отложениях и концентрации фосфатов, растворенных в пелагиали семи прибрежных участков.

Накопившиеся к концу лета 2011 года в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища растворенные ортофосфаты обусловили вторую, осеннюю «вспышку» численности и биомассы фитопланктона, которая по абсолютным значениям значительно превысила первый летний пик (рис. 19; прил. 9.2). В отличие от летнего «цветения» фитопланктона, ход которого на прибрежных участках водоема определяли разные виды синезеленых и отчасти зеленых водорослей, осеннее «цветение» было вызвано исключительно массовым развитием одного вида цианопрокариот — *Planktothrix agardhii*. С августа по октябрь 2011 года прирост био-

массы *P. agardhii* в поверхностном слое водоема толщиной 1 м составил около 506,8 т, в состав которой было включено приблизительно 0,4 т фосфора, захваченного из воды в виде растворенных фосфатов. За тот же самый период средняя концентрация общего фосфора в поверхностном слое Ижевского водохранилища уменьшилась более чем на 0,05 мг/л, что эквивалентно «потерям» около 1,3 т фосфора. Как следствие, только часть этой массы фосфора была поглощена планктотрихетовыми цианобактериями в период их осеннего «цветения». Полагаем, что оставшаяся часть фосфора в составе растворенных фосфатов была вымыта из водохранилища в нижний бьеф в начале осени 2011 года во время сильных сентябрьских дождевых паводков, а также удалена (осаждена) в придонные слои и донные отложения его глубоководных участков.

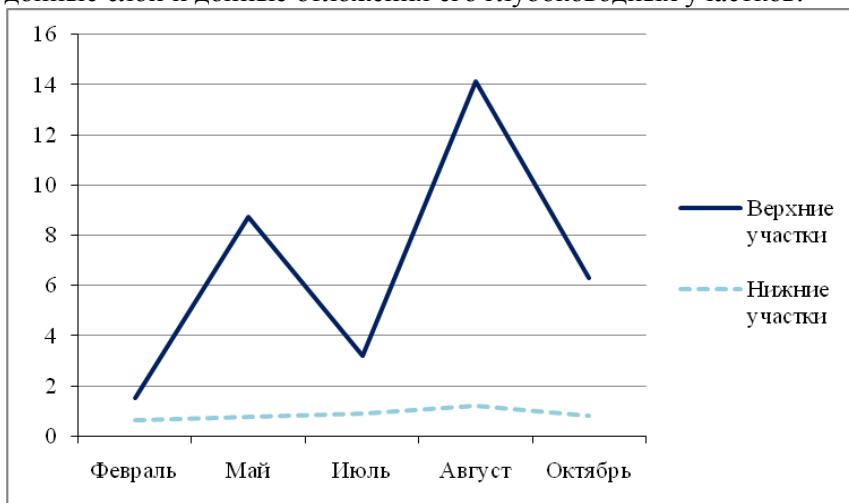


Рис. 27. Сезонная динамика среднего содержания общего фосфора (мг/кг) в вытяжках из поверхностных донных отложений верхних и нижних прибрежных участков Ижевского водохранилища в 2011 году

Наоборот, на большинстве прибрежных участков Ижевского водохранилища было отмечено уменьшение содержания общего фосфора в донных отложениях с конца августа по начало октября 2011 года (рис. 27; прил. 8.1), которое, в свою очередь, отрицательно, но достаточно слабо коррелировало с его содержанием в толще воды этих участков ($R_S = -0,40$) и с биомассой осеннего фитопланктона ($R_S = -0,32$). По нашему мнению, осенние потери общего фосфора в прибрежных донных отложениях отчасти могли быть

связаны с массовым сентябрьским окукливанием личинок и вылетом имаго хирономид, которые, будучи доминантами в составе биомассы зообентоса водохранилища, могли аккумулировать из донного грунта немалые количества фосфорорганических соединений и затем вынести их из водной экосистемы.

Какое-то количество прибрежных донных отложений, особенно наименее плотных поверхностных илисто-детритных фракций, вместе с содержащимся в них малоподвижным фосфором могло быть увлечено на более глубокие русловые участки водохранилища придонными адвекционными течениями. Осенью этому в значительной степени способствует уменьшение биостабилизации донных отложений в силу отмирания укореняющихся гидрофитов, распространенных летом в прибрежье водоема до глубин 2,0–2,5 м и задерживающих своей корневой системой и погруженными в воду вегетативными органами различные седименты. К началу октября на мелководьях Ижевского пруда гидрофиты большей частью закончили свою вегетацию и погибли, у гелофитов в это время потери биомассы были не столь значительны (рис. 28; прил. 9.2).

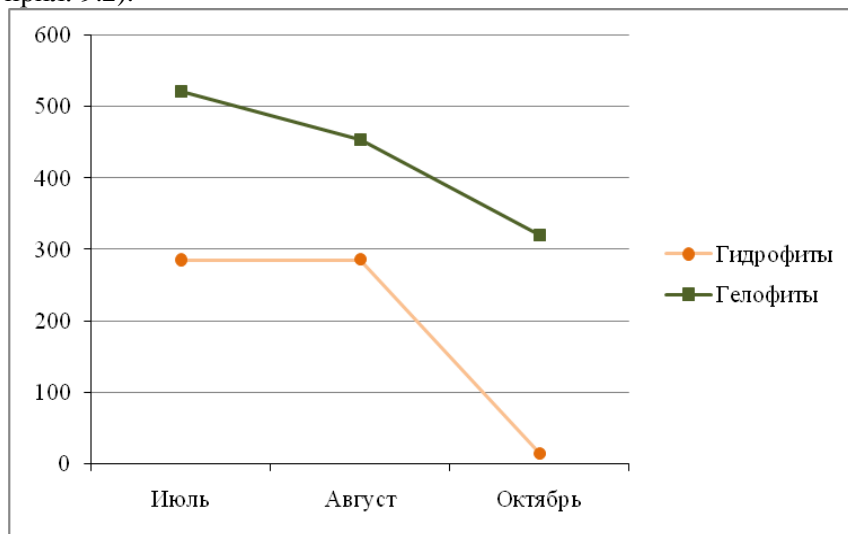


Рис. 28. Изменение средних значений воздушно-сухой биомассы гидрофитов и гелофитов (г/м^2) на прибрежных участках Ижевского водохранилища с июля по октябрь 2011 года

В октябре была отмечена статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ положительная корреляция между значениями оставшейся биомассы живых укореняющихся гидрофитов (кубышки желтой) и содержанием общего фосфора в прибрежных донных отложениях семи участков Ижевского водохранилища ($R_S = 0,79$), что косвенно подтверждает высказанное предположение о значимости водных сосудистых растений в биостабилизации поверхностных слоев донного грунта, формируемых к концу вегетационного сезона главным образом осажденными и переработанными бентосом частицами детрита. Вместе с тем, с осенним отмиранием биомассы гидрофитов и части биомассы гелофитов связано вторичное поступление в пелагиаль водохранилища некоторого количества органических веществ и биогенных элементов: корреляция средних значений общей биомассы макрофитов с содержанием растворенных фосфатов в воде семи прибрежных участков и с показателем ХПК в воде этих же участков была в октябре 2011 года отрицательная и статистически значимая на уровне $\alpha = 0,05$ ($R_S = -0,88$ и $-0,93$ соответственно).

5.3. Некоторые особенности круговорота фосфора в экосистеме Ижевского водохранилища

Выше было отмечено, что макрофиты Ижевского водохранилища в летний период могут способствовать извлечению из воды и удержанию избытка фосфора как в составе своей биомассы, так и в прибрежных донных отложениях. Однако осенью в период отмирания фитомассы их роль в круговороте фосфора внутри водной экосистемы кардинально меняется, так как они в это время сами выступают в качестве вторичного источника биогенного загрязнения воды и донных отложений водоема. По приблизительным оценкам, к концу августа 2011 года высшие водные растения, массово развивавшиеся на мелководьях Ижевского водохранилища, вовлекли в состав своей биомассы в сумме порядка 2,8 т фосфора. Причем больше половины (около 1,6 т фосфора) пришлось на биомассу гидрофитов, формировавших мощные и протяженные заросли в верхней части водоема, особенно в правобережье от пос. Воложка до урочища «Сухой ельник» (с/о «Трудовая пчела»). Основу фитомассы гидрофитов на этих участках водохранилища составили кубышка желтая, роголистник погруженный и рдест блестящий.

В это же время (конец августа) был накоплен максимальный за сезон объем наиболее подвижных форм фосфора и в донных отложениях прибрежных участков водохранилища: в верхней части Ижевского пруда около 2,4 т, в нижней его части порядка 0,3 т из расчета на верхний, наиболее химически и физически активный слой донного грунта толщиной 5 см для мелководий с глубинами не более 2 м. Еще приблизительно 7,2 т общего фосфора в конце августа 2011 года содержалось в пелагиали водохранилища, в том числе 5,5 т — в составе растворенных ортофосфатов. Увеличение биомассы цианопрокариот с конца августа до начала октября в среднем в 3,5 раза (до 0,6 т в пересчете на фосфорный эквивалент только для поверхностного слоя воды толщиной 1 м), скорее всего, оказалось возможным благодаря растворенным ортофосфатам, накопленным в максимальных количествах в толще воды ранее — в конце лета.

Таким образом, мы можем выделить три основных «резервуара» биологически доступного фосфора, определяющего уровень внутренней биогенной нагрузки на водную экосистему Ижевского водохранилища в течение года: водные слои пелагиали (с биомассой планктона и нектона), донные отложения (с биомассой бентоса) и макрофиты. Роль каждого из этих «резервуаров» в удержании фосфора меняется в зависимости от сезона. Так, в конце зимы и до окончания периода ледостава основная масса фосфора сосредоточена в виде растворенных фосфатов в пелагиали прибрежных мелководий водохранилища, а также в придонных слоях и донных отложениях глубоководных русловых участков водоема. После вскрытия и освобождения поверхности Ижевского водохранилища ото льда условия освещенности в воде становятся оптимальными для наращивания биомассы автотрофного планктона, который в весенних условиях относительно невысоких температур и повышенного содержания нитратов представлен преимущественно диатомовыми водорослями. Массовое развитие некоторых колониальных видов диатомей, поглощающих из толщи воды необходимые им биогенные элементы, приводит к снижению концентрации растворенных фосфатов в Ижевском пруду к июню до сезонного минимума. В это время часть биомассы диатомовых водорослей на наиболее прогреваемых мелководных участках водоема начинает отмирать и осаждаться на дно, что способствует удалению некоторого количества органического фосфора обратно в донные отложе-

ния. В начале лета осаждение фосфора в придонные слои и на дно мелководий стоячих водоемов может осуществляться и физико-химическим путем без участия отмирающего фитопланктона — в результате связывания фосфатов с нерастворимыми окисленными формами железа и марганца в условиях повышения содержания растворенного кислорода и водородного потенциала водной среды, формируемых активным фотосинтезом водных продуцентов (Хатчинсон, 1969). Так, с мая по июль 2011 года среднее содержание в воде растворенного кислорода в поверхностных слоях прибрежных участков водохранилища увеличилось с 8,8 до 9,5 мг/л, средние значения рН за это же время здесь выросли с 8,0 до 8,8.

К середине лета на мелководных и хорошо прогреваемых участках верхнего плеса водохранилища часть удаленного на дно фосфора довольно быстро высвобождается из поверхностного слоя донных отложений обратно в толщу воды, в основном после разложения осажденной органики. Находясь в июле 2011 года в верховьях Ижевского пруда преимущественно в форме растворенных фосфатов, этот биогенный элемент стимулировал летнее развитие и наращивание биомассы макрофитов на мелководных участках водоема. В это же время в нижней более глубоководной части водоема большая часть фосфора присутствовала в пелагиали в органической форме в составе взвесей, коллоидов и РОВ, которые появились в начале лета в результате отмирания несъеденной консументами части весеннего фитопланктона и активного выделения экзометаболитов живыми планктонными организмами, обуславливая своим присутствием в воде максимальные сезонные значения БПК на данных участках в июле, в среднем в два раза превышающие ПДК (прил. 7.3, 9.1). Компоненты органических веществ, разлагающиеся в толще воды и на поверхности донных отложений с выделением растворенных биогенных элементов, способствуют июльскому развитию синезеленых водорослей, рост биомассы которых в середине лета лимитируется не только фосфатами, но и некоторыми соединениями азота. Так, отрицательная корреляция значений биомассы цианопрокариот и содержания ионов аммония в июле 2011 года была достаточно высокой и близкой к статистически значимой на уровне $\alpha = 0,05$ ($R_s = -0,75$), а в июле 2010 года показатели отрицательной корреляции этих значений достигали заданного уровня значимости. Наоборот, со значениями биомассы гелофитов содержание ионов аммония в воде прибрежных участ-

ков Ижевского водохранилища в этот месяц 2011 года было связано статистически значимой на уровне $\alpha = 0,05$ положительной корреляцией ($R_s = 0,93$). Как следствие, между синезелеными водорослями и макрофитами в водохранилище, особенно в его верхней части, с середины лета существовала конкуренция за биогенные элементы, что привело к концу лета к некоторому снижению биомассы первых и увеличению биомассы последних.

В августе 2011 года в водохранилище происходило интенсивное разложение органических веществ, как накопленных ранее, так и поступивших вновь в толщу воды и на дно в результате отмирания биомассы зоопланктона, а также части биомассы фитопланктона и водных макрофитов. Данный процесс способствовал увеличению содержания фосфатов и общего фосфора в пелагиали Ижевского водохранилища до сезонного максимума. Часть фосфора могла выводиться на более длительный период в состав глубоководных донных отложений в результате осаждения взвешенных органических частиц, оставшееся его количество в виде растворенных ортофосфатов стимулировало вторую, осеннюю «вспышку» численности синезеленых водорослей, которая по амплитуде в 2,5 раза превышает летнюю. В начале осени эвритермные и олигофотные представители цианопрокариот могли развиваться в Ижевском пруду так обильно еще и потому, что по сравнению с июлем-августом они в меньшей степени испытывали конкурирующее влияние со стороны макрофитов. Последние представлены в водоеме в осенний период главным образом прибрежными высокотравными гелофитами. При этом значения биомассы гелофитов (рогозов, тростника) в октябре уменьшаются в 1,5–2 раза по сравнению с летними показателями, а большая часть гидрофитов к середине осени уже полностью отмирает. Отмирание основной надводной биомассы высокотравных гелофитов происходит поздней осенью и сопровождается увеличением содержания органических веществ на поверхности дна прибрежных мелководий в виде растительных остатков. В 2011 году биомасса фитопланктона, сформированная в пелагиали Ижевского водохранилища за период второй осенней «вспышки» его численности, также осаждалась на дно, что подтверждено визуальными наблюдениями при взятии проб донного грунта на нижних прибрежных участках водоема в районе городского водозабора. Поверхность дна здесь в конце октября этого года была покрыта зеленым гомогенным налетом толщиной в не-

сколько миллиметров, в составе которого при наблюдении под микроскопом обнаружены синезеленые и диатомовые водоросли, а также остатки зоопланктонных организмов.

Большая часть органического вещества, осаждаемого осенью на дно прибрежных мелководий Ижевского водохранилища в составе отмершей биомассы гидробионтов, в течение зимы постепенно разлагается с высвобождением в воду биогенных неорганических соединений, в том числе фосфатов. В результате к концу зимы содержание наиболее подвижных форм фосфора в мелководных донных отложениях может уменьшаться по сравнению с летне-осенним максимумом на нижних участках водоема в среднем в полтора раза, а в верхнем плесе — в 5–10 раз (прил. 9.1). Аналогичные процессы, связанные с регенерацией фосфатов, происходят в зимнее время и в донных отложениях, залегающих на глубоководных участках водоемов (Хатчинсон, 1969; Даценко, 2007). В конечном итоге годовой цикл фосфора в экосистеме Ижевского водохранилища замыкается.

Ситуация, когда внутренняя биогенная нагрузка на водную экосистему значительно превышает внешнюю, характерна для относительно мелководных водоемов озерного типа, слабопроточных или бессточных, подверженных достаточно длительному по времени антропогенному эвтрофированию, в частности, расположенных на урбанизированных территориях, таких как озеро Шарташ в Екатеринбурге (Петухова, 1985) и озеро Неро в Ростове Великом (Бикбулатов и др., 2008). К подобным водоемам можно отнести и Ижевский заводской пруд-водохранилище, который, являясь «рукотворной» пресноводной экосистемой, расположен на территории крупного города и характеризуется в меженные периоды гидрологическими признаками слабопроточного озера. Имея поверхностный водосбор, в значительной степени трансформированный сельскохозяйственной деятельностью и урбанизацией, водоем за время своего более чем двухсотпятидесятилетнего существования накопил запасы биологически доступного фосфора, достаточные для поддержания в течение всего вегетационного сезона высокой первичной продуктивности водной экосистемы. Основные резервы этого биогенного элемента содержатся в водохранилище в составе донных отложений, тогда как вовлечение новых порций биогенов в водную экосистему извне с водосбора происходит при непосредственном участии консорциев водных макрофитов, форми-

рующих биологический барьер-фильтр на пути растворенных химических веществ, поступающих на мелководья водоема через притоки и с береговым смывом в периоды весеннего половодья и дождевых паводков.

На важное, иногда ключевое значение высших водных растений в биологическом самоочищении водохранилищ указывают многие исследователи (Корсак, Мякушко, 1981; Якубовский и др., 1989; Шашуловская, 2010). Отмирая, водные макрофиты способствуют накоплению биогенных элементов и ряда тяжелых металлов в составе растительного детрита на поверхности мелководных участков дна, где эти элементы частично депонируются в донных отложениях и в составе биомассы донных организмов, а частично высвобождаются в толщу воды, вызывая вторичное загрязнение водоемов. Исходя из результатов наших исследований 2011 года, наиболее активно подобные процессы происходят в верхней мелководной части Ижевского водохранилища. Поэтому одной из основных задач дальнейших наших изысканий в 2012 году явилось более подробное изучение некоторых химических и биологических характеристик донных отложений на участках верхнего плеса и Юровского залива водохранилища. Практическим приложением к этой задаче стал поиск участков акватории, наиболее перспективных и приоритетных в плане очистки водоема от иловых масс и избытка биомассы водных макрофитов с целью снижения уровня внутренней биогенной нагрузки.

ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2012 ГОДУ

6.1. Особенности сезонной динамики количественных показателей фитопланктона в верхней части Ижевского водохранилища

В 2012 году количественные показатели фитопланктона Ижевского водохранилища были оценены по результатам анализа проб, взятых в начале мая, конце июля, начале сентября и середине октября в верхнем плесе и Юровском заливе на четырех прибрежных и трех русловых участках водоема (прил. 11.1–11.4).

В течение всего сезона с мая по октябрь в составе фитопланктона исследованных участков доминировали по численности представители синезеленых водорослей. Наибольшие значения общей численности и биомассы фитопланктона в верхней части акватории водохранилища были отмечены в начале сентября и достигали значений 465 тыс. кл./мл и 51 мг/л соответственно в придонных слоях воды пункта *p2*. По сравнению с 2010 и 2011 годами в 2012 году массовой осенней «вспышки» численности цианопрокариот в верховьях пруда не наблюдалось: их обилие в начале осени этого года было в несколько раз меньше, чем в аналогичные периоды двух предыдущих лет (рис. 29). В то же время сентябрьские значения 2012 года биомассы синезеленых водорослей, усредненные для поверхностных и глубинных слоев верхней части водохранилища, были в целом сопоставимы с аналогичными значениями 2010–11 годов (рис. 30). Это могло означать, что в начале осени 2012 года цианобактерии Ижевского водохранилища были представлены в среднем более крупноклеточными формами (или таксонами) по сравнению с предыдущими годами. На глубине русловых участков плотность фитопланктона была в сентябре в среднем в три раза выше, чем в прибрежье. Однако к середине октября она снизилась на 1–2 порядка на всех исследованных участках водоема, то есть «цветение» воды практически прекратилось.

Еще одно значимое отличие в сезонной динамике численности синезеленых водорослей Ижевского пруда было выявлено нами за последний год исследований. Так, в 2010 и 2011 годах, начиная с середины лета, в составе сообществ планктонных циано-

прокариот преобладал по численности один вид — *Planktothrix agardhii*, доля которого осенью приближалась к 100 % (рис. 31).

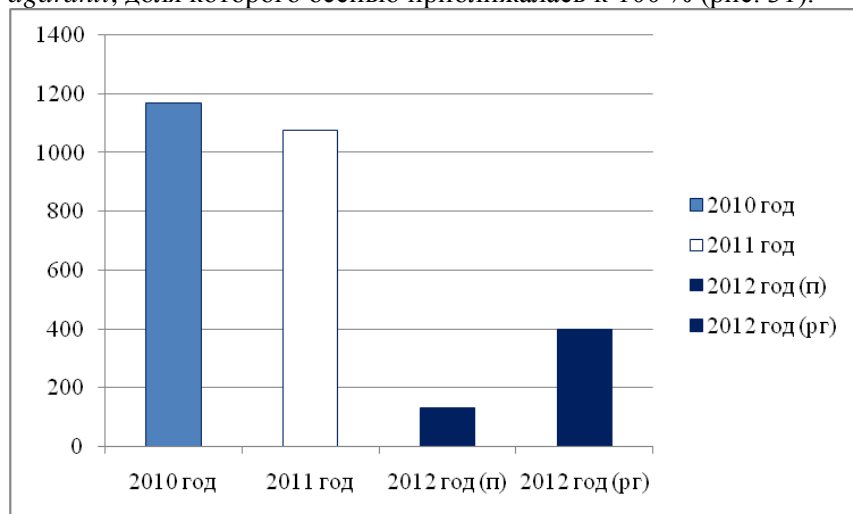


Рис. 29. Максимальные значения численности синезеленых водорослей (тыс. кл./мл) в верховьях Ижевского водохранилища в начале осени в 2010–12 годах («п» — поверхностные слои воды прибрежных участков, «рг» — придонные слои воды глубоких русловых участков)

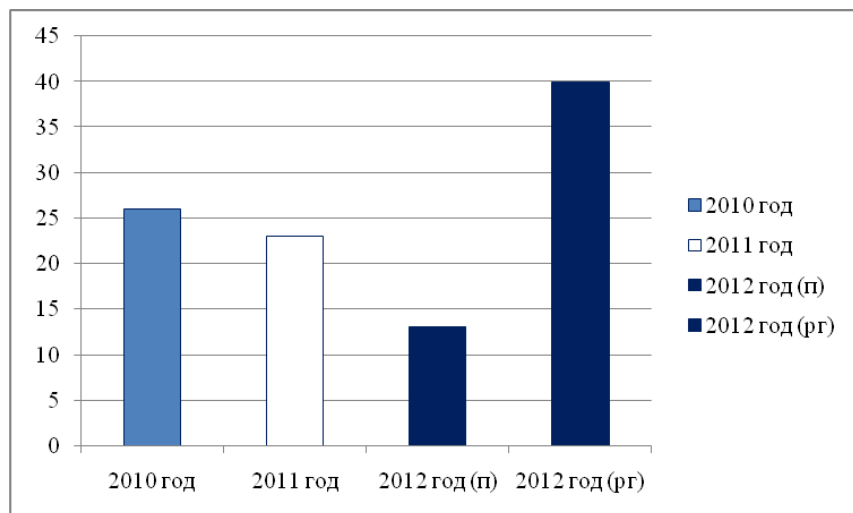


Рис. 30. Максимальные значения биомассы синезеленых водорослей (мг/л) в верховьях Ижевского водохранилища в начале осени в 2010–12 годах (обозначения как на предыдущем рисунке)

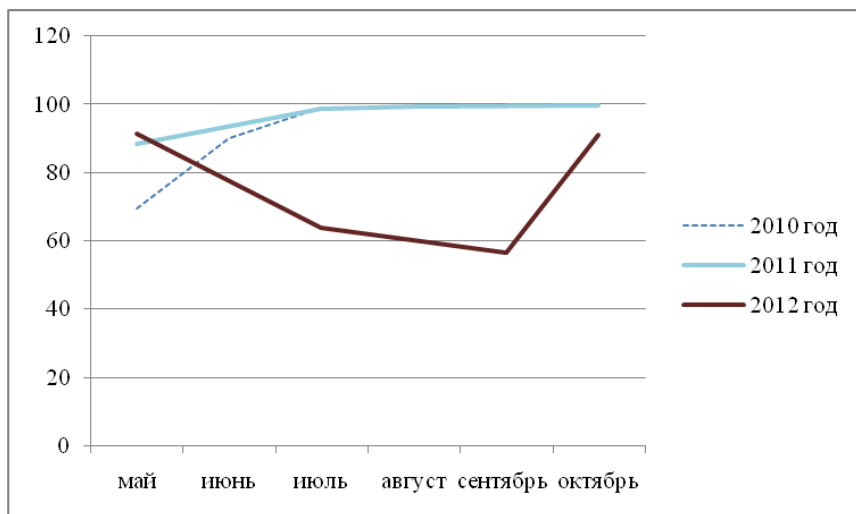


Рис. 31. Изменение относительной численности *Planktothrix agardhii* в разные годы (в % от общей численности цианопрокариот)

Однако в 2012 году во второй половине лета (по крайней мере, с конца июля по начало сентября) доля *P. agardhii* от общей численности синезеленых водорослей составила в среднем «всего» около 60 %, тогда как оставшиеся 40 % обилия пришлось на другие виды: *Microcystis aeruginosa*, *M. pulverea* (Wood.) Forti emend. Elenk., *Aphanizomenon klebahnii* (Elenk.) Peachar et Kalina, *A. flos-aquae*, *Anabaena scheremetievii*, *A. lemmermannii*, *Pseudanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., *Limnothrix redekei* (Van Goor) Meffert. В начале сентября 2012 года суммарная доля разных видов цианопрокариот, помимо *P. agardhii*, на некоторых прибрежных участках водохранилища достигала 70 % от общей биомассы синезеленых водорослей.

По данным, предоставленным МУП г. Ижевска «Ижводоканал», были проведены более подробные сравнения сезонной динамики численности синезеленых водорослей Ижевского пруда на входе в головные водозаборные сооружения (руслевой участок между средним и нижним плесами, глубина около 4,5 м) в летне-осенние периоды 2010 и 2012 годов (рис. 32). Как видно из рисунка, в 2012 году интенсивный рост численности цианопрокариот начался раньше, чем в 2010 году, и вышел на пик в конце августа, достигнув среднемесячных значений около 700 тыс. кл./мл (максимум численности был зарегистрирован 30 августа 2012 года — до

910 тыс. кл./мл). Далее в сентябре численность синезеленых водорослей постепенно уменьшалась и к концу октября уже не превышала 150 тыс. кл./мл. Наоборот, в 2010 году основной пик численности планктонных цианобактерий пришелся на осеннее время и составил в сентябре в среднем около 1,25 млн кл./мл при максимальных наблюдаемых значениях более 1,5 млн кл./мл. Летний же максимум их численности в 2010 году был существенно ниже осеннего — в среднем около 300 тыс. кл./мл в июле. Аналогичная ситуация — относительно невысокий летний пик численности синезеленых водорослей в середине лета и значительно более высокая по амплитуде осенняя «вспышка» их численности в сентябре-октябре — наблюдалась в водохранилище и в 2011 году.

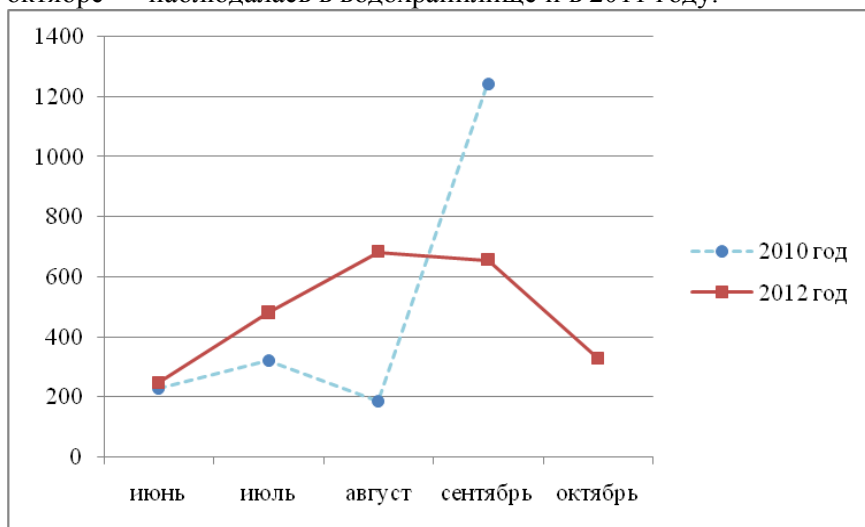


Рис. 32. Сезонная динамика средней численности синезеленых водорослей Ижевского водохранилища (тыс. кл./мл) в районе городского водозабора в 2010 и 2012 годах

По нашему мнению, выявленные межгодовые различия в сезонной динамике количественных показателей и соотношения разных видов синезеленых водорослей Ижевского водохранилища могли быть связаны с региональными особенностями погодных условий в разные годы наблюдений — в частности, с различным распределением количества выпавших осадков в г. Ижевске и его окрестностях по летним и осенним месяцам в течение вегетационных сезонов 2010–12 годов. Длительное отсутствие атмосферных

осадков в отдельные летние месяцы может приводить к снижению биомассы фитопланктона в эвтрофных водоемах по сравнению с аналогичными периодами дождливых лет (Ляшенко, Бабаназарова, 2008).

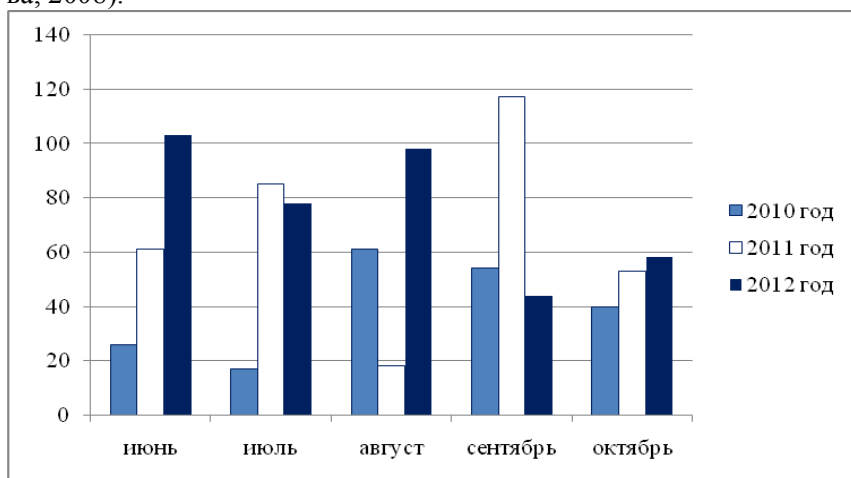


Рис. 33. Распределение количества выпавших осадков (в мм) по летним и осенним месяцам 2010–12 годов в г. Ижевске

Как видно из рис. 33, в течение летних сезонов 2010–11 годов наблюдались засушливые периоды с суммарным месячным количеством выпавших осадков, составлявшим менее 20 мм (в 2010 году — в июле, в 2011 году — в августе), после которых к началу осени наступали дождливые периоды — особенно дождливым был сентябрь 2011 года. В 2012 году картина распределения выпавших осадков по летне-осенним месяцам была совсем иная: летний период был существенно более влажным, особенно июнь, когда только за одни сутки 19 июня выпало больше месячной нормы атмосферных осадков (75 мм). Наоборот, сентябрь 2012 года был достаточно сухой с непрерывным безосадковым периодом в течение семи суток во второй половине месяца. При сопоставлении среднемесячных значений численности синезеленых водорослей в районе городского водозабора Ижевского водохранилища в 2010 и 2012 годах и суммарных месячных значений количества выпавших осадков в летние и осенние месяцы этих же лет была выявлена статистически значимая на уровне $\alpha = 0,01$ положительная корреляция ($R_S = 0,86$ для $n = 9$). Аналогичные результаты получены нами при более детальном корреляционном анализе дан-

ных с июня по октябрь 2012 года, когда были сопоставлены среднесуточные значения количества выпавших осадков за отдельные короткие периоды времени в несколько дней (от двух до девяти суток) с относительными приростами численности цианопрокариот в последующие периоды с запаздыванием в несколько дней (табл. 5): $R_S(A-B) = 0,86$ для $n = 21$.

Таблица 5

Среднесуточные значения количества осадков в мм (А)
и относительные приросты численности синезеленых водорослей
(В) в отдельные периоды с июня по октябрь 2012 года

Период	04.06– 12.06	13.06– 18.06	19.06– 25.06	26.06– 04.07	05.07– 11.07	12.07– 16.07	17.07– 18.07	19.07– 23.07
А	0,43	0,33	13,10	1,27	0,14	2,80	1,00	6,34
В	–	1,05	0,61	2,12	1,50	0,31	3,94	0,99
Период	24.07– 25.07	26.07– 01.08	02.08– 08.08	09.08– 15.08	16.08– 22.08	23.08– 29.08	30.08– 05.09	06.09– 12.09
А	2,50	3,29	0,06	3,28	3,20	4,14	2,49	3,93
В	1,05	0,91	0,78	1,50	1,11	1,19	0,85	0,68
Период	13.09– 19.09	20.09– 26.09	27.09– 03.10	04.10– 10.10	11.10– 17.10	18.10– 24.10		
А	0,53	0,37	3,57	1,44	1,47	–		
В	1,09	1,27	0,83	0,58	0,61	0,67		

Из табл. 5 видно, что интенсивный прирост численности синезеленых водорослей в Ижевском водохранилище в районе городского водозабора начался в 2012 году после дождливых дней 19–25 июня: за следующие девять дней их численность возросла более чем в два раза и потом за неделю увеличилась еще в полтора раза. Недельный безосадковый период в начале июля 2012 года, в свою очередь, привел к последующему трехкратному снижению численности цианопрокариот к середине июля. Однако вследствие обильных осадков 14 июля их численность вновь выросла почти в четыре раза и далее оставалась в пределах полутора-двухкратного колебательного диапазона до конца сентября, когда после недельного безосадкового периода 18–24 сентября начался устойчивый спад показателей обилия синезеленых водорослей.

Исходя из сделанного выше анализа, подтверждается наше мнение о том, что на различия в динамике численности синезеленых водорослей Ижевского водохранилища в течение летне-

осенних вегетационных сезонов 2010 и 2012 годов могли повлиять особенности распределения количества осадков, выпадавших в эти годы в районе местоположения водоема и его водосборного бассейна. Мы считаем, что механизмы данного влияния связаны с изменением содержания некоторых биогенных питательных элементов в пелагиали водохранилища после дождей, что, в свою очередь, приводит к изменению скорости роста и размножения отдельных представителей фитопланктона. По результатам трехлетних наблюдений за динамикой содержания растворенных соединений азота и фосфора в поверхностных слоях водоема удалось выявить статистически значимую на уровне $\alpha = 0,05$ положительную корреляцию между суммарными значениями количества атмосферных осадков, выпадавших в разные месяцы с июля по октябрь 2010–12 годов, и концентрацией нитратов в верховьях Ижевского пруда в эти же месяцы ($R_s = 0,68$ для $n = 9$). В отношении содержания других биогенных веществ (фосфатов, аммония), а также показателей БПК и ХПК подобной достоверной связи с количеством выпавших осадков нами выявлено не было. Однако для фосфатов была отмечена достаточно высокая, хотя и не достигающая уровня статистической значимости положительная корреляция значений их концентрации в верхней части водохранилища, зарегистрированных в тот или иной летний (осенний) месяц, с суммарным количеством осадков, выпадавших месяцем ранее ($R_s = 0,60$ для $n = 10$).

Таким образом, особенности динамики концентрации нитратов в верхней части Ижевского водохранилища в течение летне-осеннего сезона могут отчасти определяться сезонным распределением количества осадков, которые вымывают из атмосферы и из почвы растворенные неорганические соединения азота, попадающие достаточно быстро в водоем либо напрямую с дождем, либо через поверхностный смыв с водосбора. В качестве основного естественного регулятора внешнего приходно-расходного баланса азота в водоеме выступают меняющиеся погодные (синоптические) условия, формирующие внутрисезонные особенности водного режима (кратковременные флуктуации расходов воды в притоках и т. п.). Так, минимальные значения концентраций нитратов в верховьях Ижевского водохранилища в летне-осенние сезоны трех лет наблюдений были отмечены как раз в наименее дождливые месяцы: в 2010 году — в июле, в 2011 году — в августе, в 2012 году — в сентябре. На аналогичную связь содержания неорганических

форм азота, в первую очередь нитратов, в водохранилищах с количеством выпадающих атмосферных осадков указывают и другие авторы (Даценко, 2007).

В июле 2012 года корреляция содержания нитратов и значений биомассы синезеленых водорослей на семи обследованных участках в верхней части водохранилища была высокой, положительной и статистически значимой на уровне $\alpha = 0,01$ ($R_s = 0,94$). В то же время значения концентрации фосфат-ионов и значения биомассы цианопрокариот на этих же участках были взаимосвязаны отрицательной корреляцией, статистически значимой на уровне $\alpha = 0,05$ ($R_s = -0,82$). Следует отметить, что поступление дополнительного количества нитратов с дождями летом 2012 года никак не повлияло на увеличение соотношения $[N_{\text{неорг}}] : [P_{\text{неорг}}]$ в пелагиали верхнего плеса Ижевского водохранилища относительно его весенних показателей. Это соотношение оставалось здесь с июля по сентябрь весьма низким — не выше 11 : 1, а в июле 2012 года оно было ниже, чем в аналогичном месяце двух предыдущих лет — 5 : 1 против 8 : 1 в июле 2010 года и 14 : 1 в июле 2011 года. Низкое соотношение $[N_{\text{неорг}}] : [P_{\text{неорг}}]$ в середине лета 2012 года в верховьях Ижевского водохранилища на фоне некоторого повышения концентрации нитратов было обусловлено значительным снижением среднего содержания ионов аммония, которое в июле этого года было в 2 раза ниже по сравнению с майскими показателями и в 1,5–2 раза ниже июльских показателей предыдущих двух лет, когда оно даже превышало значения ПДК в 0,5 мг/л (рис. 34). В то же время среднее содержание фосфат-ионов в поверхностных слоях верхней части водохранилища в июле 2012 года было, наоборот, несколько выше аналогичных значений 2010–11 годов.

Как правило, при таких низких значениях соотношения неорганических форм азота и фосфора, которые наблюдались в пелагиали в середине лета 2012 года, основным химическим фактором, лимитирующим продукцию фитопланктона, выступает азот (Михеева, 1983). Как следствие, конкурентное преимущество в росте и развитии в этот период получили только синезеленые водоросли, причем среди них заметную долю по численности имели теплолюбивые азотфиксаторы из родов *Aphanizomenon* и *Anabaena*, которые менее требовательны к общему содержанию в воде растворенных форм азота, по сравнению с планктотрихетовыми цианопрокариотами и тем более эукариотическими автотрофными водорослями.

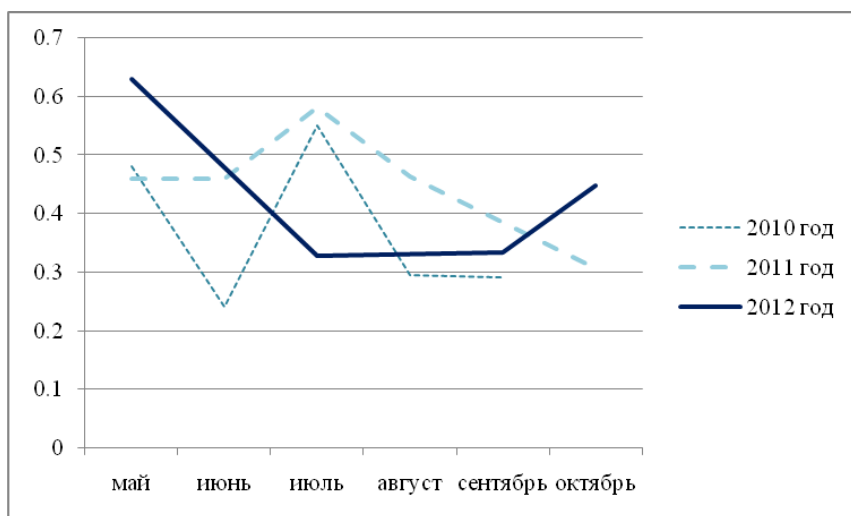


Рис. 34. Сезонная динамика содержания ионов аммония (мг/л) в поверхностных слоях верхней части Ижевского водохранилища в 2010–12 годах

В целом же, несмотря на выявленные отличия динамики численности синезеленых водорослей в летне-осенние месяцы 2012 года по сравнению с аналогичными сезонами 2010–11 годов (отсутствие осенней «вспышки» численности и более выраженный ее подъем в середине лета), средние за вегетационный сезон с июня по сентябрь значения этой численности в разные годы были примерно одинаковы — около 400–500 тыс. кл./мл. «Сглаживание» пиков численности фитопланктона, аналогичное тому, что наблюдалось в Ижевском водохранилище в 2012 году, было отмечено также для Можайского водохранилища в вегетационные сезоны многоводных лет (Даценко, 2007). По мнению данного автора, одним из возможных объяснений такому явлению может служить отсутствие выраженного слоя гипolimниона в подобных водохранилищах в условиях повышенной адвекции, промыва придонных слоев и усиления сгонно-нагонной циркуляции в летние периоды тех лет, когда преобладают циклонические погодные явления с обильными дождями и сильными ветрами. Отсутствие летней стратификации не дает застаиваться придонным слоям пелагиали водохранилища и препятствует образованию у дна заморных зон с дефицитом кислорода, который в стратифицированных условиях быстро расходуется на окисление органических веществ в условиях активного осадения остатков отмершего весенне-летнего планктона. Окис-

лительные условия в придонных слоях воды, в свою очередь, ограничивают поступление в них растворенных биогенных элементов из состава донных отложений.

Наоборот, в летние сезоны маловодных лет, когда преобладают антициклонические погодные явления, в жаркие, засушливые и безветренные дни в нижней части некоторых водохранилищ может наблюдаться устойчивая температурная стратификация, что более характерно для глубоких озер. Она часто сопровождается заморными явлениями у дна, приводящими к снижению редокс-потенциала на поверхности донного грунта, увеличению кислотности донной среды за счет выделяемой при минерализации органических веществ углекислоты, восстановлению окисленных форм азота, серы и ряда металлов, а также выделению из донных отложений подвижных фосфатов, до этого адсорбированных и осажденных в грунте (Хатчинсон, 1969; Константинов, 1986; Мартынова, 1988 и др.). По нашим данным, подобные гидрохимические явления, в частности, имели место в нижней части Ижевского водохранилища в июле-августе 2010 года (см. разд. 4.1, рис. 3–4). Вся эта придонная питательная химическая «каша» при похолодании и усилении ветра в конце лета – начале осени могла подниматься с конвекционными и динамическими потоками к поверхности в эвфотическую зону водоема и стимулировать массовое развитие некоторых групп планктонных цианобактерий, которое было отмечено нами в сентябре-октябре 2010–11 годов.

Можно добавить, что осенние «вспышки» численности синезеленых водорослей, намного превышающие летние максимумы их обилия, стали регистрироваться в Ижевском водохранилище, начиная с 2003 года (Иванова, Шарипова, 2006). По архивным данным АУ «Управление Минприроды УР», 4 сентября 2009 года на приплотинном участке водохранилища было зарегистрировано «пятно» планктонных цианопрокариот, где концентрация синезеленых водорослей достигала 5 млн кл./мл, в основном за счет представителей родов *Anabaena*, *Planktothrix* и *Microcystis*. Хотя всего за четыре дня до этого численность цианопрокариот на рассматриваемом участке водоема не превышала 400 тыс. кл./мл, а в среднем плесе водохранилища была менее 200 тыс. кл./мл.

6.2. Некоторые гидрохимические и гидробиологические характеристики донных грунтов в верхней части Ижевского водохранилища

В верхней части Ижевского водохранилища преобладают илистые типы поверхностных донных отложений, которые большей частью привязаны к правобережным заливам и русловым плесовым выемкам дна. В левобережной части, вероятно, в силу более интенсивного абразионного размыва чаще встречаются песчаные и глинисто-песчаные донные грунты. На прибрежных мелководных участках, зарастающих высшей водной растительностью, ил и песок перемешиваются с детритом, а в правобережье водоема детритно-илистые донные отложения местами содержат торфяные включения. В ходе наших исследований 2012 года на некоторых русловых глубоководных участках водоема ниже Юровского мыса в составе ила были отмечены в большом количестве раковины двустворчатых моллюсков из сем. *Unionidae* (*Unio protractus* Lindholm).

В конце июля 2012 года на поверхности всех проб донных отложений, взятых дночерпателем на четырех прибрежных и трех русловых участках водохранилища, был зарегистрирован гомогенный зеленый слой осажденной фитомассы планктонных водорослей толщиной до 1 см. В осенних пробах донного грунта этот верхний слой приобрел бурый оттенок и был представлен как живыми, так и отмершими клетками (фрагментами) диатомовых и синезеленых водорослей, хитиновыми остатками планктонных ракообразных, а в пробах, взятых на мелководье, — также фрагментами тканей высших водных растений. Прокаливание в муфельной печи июльских проб донных отложений, предварительно доведенных до сухого состояния, показало, что суммарное содержание органических веществ в них варьирует от 22 до 38 % от сухой массы, составляя в среднем 29,2 %. Это выше, чем средние значения потерь при прокаливании донных отложений, отобранных из крупных волжских водохранилищ, согласно литературным данным (Выхристюк, Варламова, 2003). Максимальными значениями содержания осажденных на дне водоема органических веществ в конце июля характеризовались прибрежные пункты *n1* и *n3*, а среди исследованных русловых участков Ижевского водохранилища наибольшими показателями потерь органических веществ при прокаливании сухой массы донных отложений отличался пункт *p2* (31 %). Во

всех этих пунктах преобладали илистые и детритно-илистые донные грунты.

В мае 2012 года наибольшим содержанием кислоторастворимых фосфатов в поверхностных фракциях донных отложений верхней части водохранилища характеризовались глубоководные русловые участки, тогда как в прибрежье этот показатель был в среднем в два раза ниже (рис. 35). К началу осени на всех исследованных участках водоема содержание фосфатов в донных грунтах снизилось на порядок. Повышенное содержание фосфора в донных отложениях верхней части водоема в конце весны могло быть связано с поступлением дополнительных количеств фосфорсодержащих веществ с водосбора во время весеннего половодья через реки Иж, Люк, Пазелинка и Шабердинка и последующим осаждением большей их части на дне верхнего плеса и на выходе из него через достаточно узкий пролив южнее Юровского мыса.

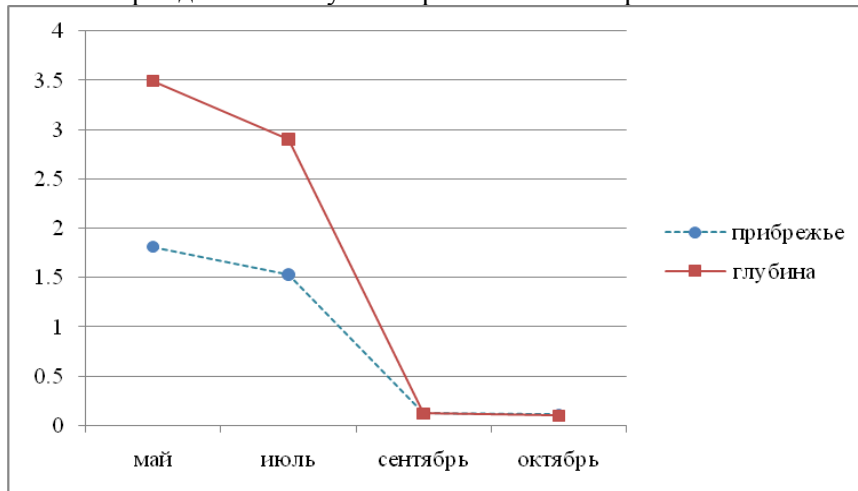


Рис. 35. Сезонная динамика содержания кислоторастворимых фосфат-ионов (г/кг) в поверхностном слое донных отложений верхних участков Ижевского пруда в 2012 году

Наоборот, содержание нитратного азота в донных отложениях на верхних прибрежных участках Ижевского водохранилища весной и летом 2012 года было заметно ниже, чем осенью. К октябрю оно увеличилось более чем в три раза по сравнению с весенне-летними показателями (рис. 36). В то же время на глубоководных русловых участках водоема концентрация нитратов в поверх-

ностных фракциях донного грунта оставалась низкой в течение всего вегетационного сезона. Подобные различия в сезонной динамике содержания нитратного азота в донных отложениях мелководных и глубоководных участков водохранилища могли быть обусловлены накоплением к концу сезона на прибрежных участках отмерших остатков водных макрофитов и усилением микробиологических процессов нитрификации в более благоприятных летне-осенних кислородных условиях мелководий.

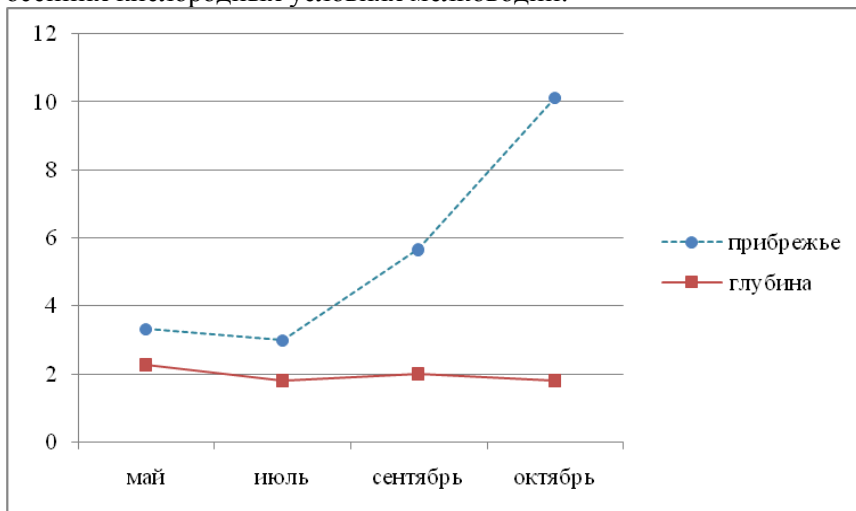


Рис. 36. Сезонная динамика содержания нитратного азота (мг/кг) в поверхностном слое донных отложений верхних участков Ижевского водохранилища в 2012 году

Одним из наиболее адекватных биологических индикаторных показателей уровня загрязнения донного грунта легко разлагаемыми органическими соединениями может служить доля пелофильных беспозвоночных животных-грунтоедов в составе эндобентоса, в частности, олигохет. Различные олигохетные индексы широко используются в биоиндикации уровня сапробности пресных водоемов (Шитиков и др., 2005). Как видно из рис. 37, в верховьях Ижевского водохранилища наиболее высокой доля олигохет в составе биомассы кормового макрозообентоса была на прибрежных мелководных участках, где она достигала в среднем 30 % к концу вегетационного сезона 2012 года.

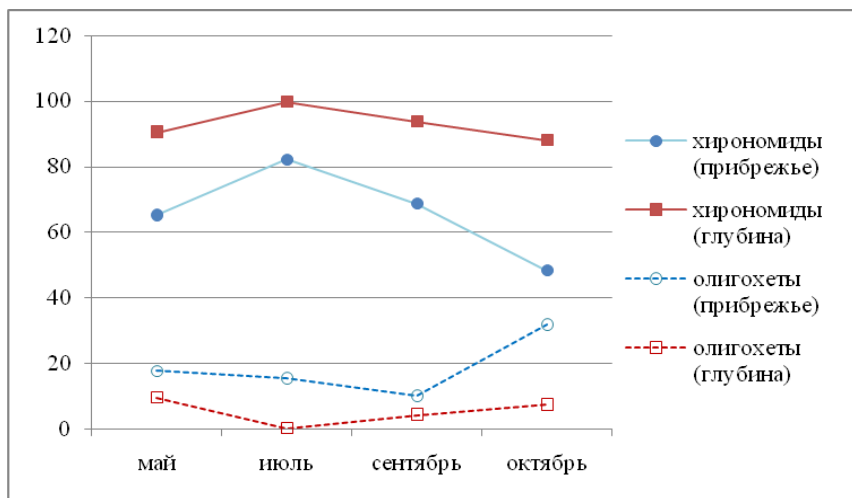


Рис. 37. Сезонная динамика доли олигохет и личинок хирономид прибрежных и русловых участков верхней части Ижевского водохранилища в 2012 году (в % от общей биомассы макрозообентоса)

На русловых глубоководных участках водоема «мягкий» макрозообентос в среднем более чем на 90 % своей биомассы состоял из пелофильных личинок комаров-звонцов из сем. *Chironomidae* (в основном представленных видом *Chironomus plumosus* L.), тогда как доля олигохет здесь не превышала 10 % от общей биомассы донных беспозвоночных животных без учета крупных двусторчатых моллюсков. При этом общая биомасса мягкотелых организмов зообентоса на единицу площади дна была на русловых участках водохранилища в несколько раз выше, чем на прибрежных: в конце июля эти различия достигали 10–12 раз (рис. 38).

Хирономиды, в отличие от водных олигохет, являются амфибионтными (гетеротопными) животными: по мере созревания личинок и последующего их окукливания они сначала покидают донные и другие подводные биотопы, всплывая к поверхности водоема, а затем, превращаясь в имаго, вылетают из водоема в наземно-воздушную среду. При этом осуществляется вынос части органического вещества из водной экосистемы, что в какой-то степени способствует ее самоочищению от избытка биогенных элементов, в частности, азота и фосфора (Мартынова, 1985). Кроме того, на личиночных этапах своего жизненного цикла псаммо- и пелофильные особи хирономид активно используются в пищу некоторыми

массовыми видами рыб Ижевского водохранилища, в первую очередь, лещом и ершом (Варфоломеев, 1967). Тем самым часть биогенных элементов передается из состава донных отложений по детритным цепям питания и выводится на несколько лет из обменного фонда водной экосистемы, накапливаясь в биомассе рыб. В свою очередь, при вылове рыб биогенные элементы в составе ихтиомассы удаляются из водоема безвозвратно, поэтому на активно эвтрофирующихся водоемах с целью снижения внутренней биогенной нагрузки, особенно в части фосфора, рекомендуется проводить интенсивный промысел рыбных ресурсов, изымая до 80 % годовой рыбопродукции (Алимов, 2000). В первую очередь, это касается массовых и наиболее короткоцикловых представителей ихтиофауны, как правило, относящихся к рыбопромысловой категории «мелкий частию».

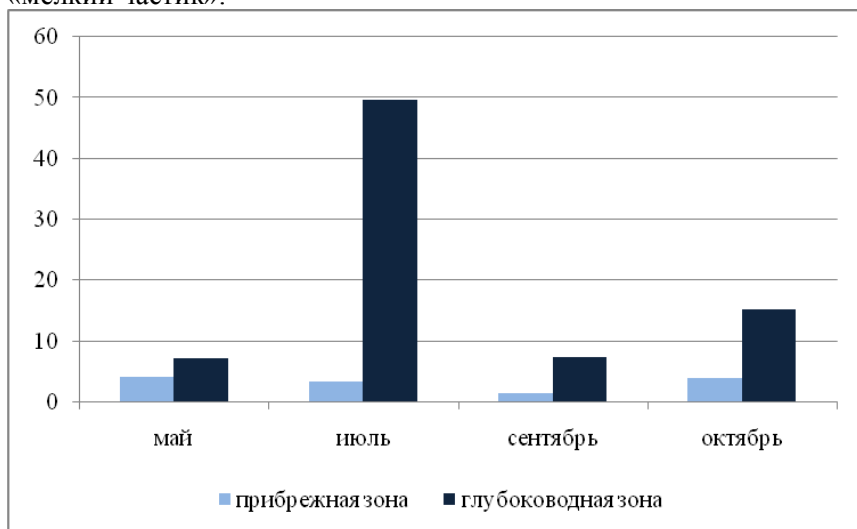


Рис. 38. Средние значения общей биомассы кормового макрозообентоса (г/м²) на прибрежных и русловых участках в верховьях Ижевского водохранилища в разные месяцы 2012 года

Исходя из количественных данных, полученных А.М. Истоминой с соавторами (2008), можно оценить суммарную среднесезонную биомассу кормового зообентоса по всему Ижевскому водохранилищу в 245 т, биомассу крупных двустворчатых моллюсков-унионид — в 366 т, ихтиомассу — в 208 т. В пересчете на содержание фосфора, составляющее в сырой биомассе крупных

беспозвоночных животных и рыб около 0,2–0,5 % (Алимов, 2000), в сумме это будет эквивалентно 2,5–3,0 т данного биогенного элемента, содержащегося в бентосных и нектонных консументах водоема.

Мы считаем, что некоторые застойные участки в мелководных зарастающих заливах правобережья Ижевского водохранилища, а также в его русловых глубоководных выемках в наибольшей степени подвержены процессам аккумуляции различных загрязняющих веществ. Именно на таких участках накапливаются органические вещества и биогенные элементы, которые недостаточно активно включаются в пищевые цепи консументов, но имеют тенденцию аккумулироваться в илах. В то же время при активном высвобождении этих биогенных элементов в толщу воды в периоды зимних или летних заморозов на таких участках значительно ухудшаются санитарно-гигиенические показатели качества водной среды и создаются условия для последующего массового развития организмов фитопланктона, вызывающих «цветение» воды. Поэтому основная задача реабилитационных мероприятий по «оздоровлению» экосистемы Ижевского водохранилища, по нашему мнению, должна заключаться в том, чтобы способствовать безвозвратному удалению из нее избытка биогенных элементов, в первую очередь, фосфора, в составе различных органических субстратов теми или иными способами. Помимо упомянутого выше вылова рыбы, такими способами могут являться выемка иловых масс со дна водоема и изъятие биомассы высших водных растений на отдельных участках водоема. Максимальной экономической и экологической эффективности можно добиться при совмещении двух последних способов в отношении наиболее доступных прибрежных заиленных и заросших мелководий водохранилища, которые занимают значительные площади в верхней части его акватории.

Интегральная оценка уровня органического и биогенного загрязнения четырех исследованных мелководных правобережных участков в верховьях Ижевского водохранилища по комплексу пяти индикаторных показателей (табл. 6) показала, что в наибольшей степени подвержены такому загрязнению два участка акватории: пункт *п1*, расположенный вблизи устья реки Шабердинки, и пункт *п3*, находящийся в Юровском заливе. Данные участки характеризуются детритно-илистыми донными грунтами и высокой степенью зарастания гидрофитами. Из трех исследованных глубоководных

русловых участков наиболее загрязненным органическими и биогенными веществами оказался пункт *p2*, расположенный напротив урочища «Сухой ельник» недалеко от Юровского залива (табл. 7). Здесь на глубинах от 4 до 6 м преобладают иловые отложения и отмечены максимальные среднесезонные показатели биомассы пелофильных организмов макрозообентоса, представленных главным образом личинками *Ch. plumosus*.

Таблица 6

Интегральная оценка уровня органического и биогенного загрязнения мелководных прибрежных участков в верхней части Ижевского водохранилища по пяти индикаторным показателям в 2012 году

Индикаторные показатели	Пункты			
	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>
Среднесезонное значение БПК в толще воды, мг O ₂ /л	4,74	3,46	4,10	3,30
<i>F₁</i>	1,00	0,73	0,86	0,70
Среднесезонное значение кислоторастворимых фосфатов в донных отложениях, мг/кг	892	732	1129	815
<i>F₂</i>	0,79	0,65	1,00	0,72
Среднесезонное значение нитратного азота в донных отложениях, мг/кг	8,70	2,41	8,90	2,11
<i>F₃</i>	0,98	0,27	1,00	0,24
Максимальное сезонное значение биомассы синезеленых водорослей, мг/л	15,62	13,38	14,15	9,12
<i>F₄</i>	1,00	0,86	0,91	0,58
Среднесезонное значение биомассы пелофильных организмов макрозообентоса, г/м ²	4,240	3,094	1,572	4,241
<i>F₅</i>	1,00	0,73	0,37	1,00
<i>D</i>	0,95	0,60	0,78	0,59

Следует добавить, что самыми высокими среднесезонными показателями загрязнения донных отложений тяжелыми металлами (медь, никель, свинец, хром, цинк и мышьяк), согласно результатам химического анализа, характеризовались другие участки из семи исследованных в верхней части Ижевского пруда. Так, среди при-

брежных участков наиболее загрязненным оказался пункт *n4*, расположенный в 200 м от железной дороги «Ижевск — Зилай», проходящей по правому берегу водохранилища. Максимальное содержание тяжелых металлов в глубоководных донных отложениях было зарегистрировано нами в пункте *p1*, расположенном в наиболее узком месте водоема — в проливе между верхним и средним плесами напротив впадения реки Пазелинки.

Таблица 7

Интегральная оценка уровня органического и биогенного загрязнения глубоководных русловых участков в верхней части Ижевского водохранилища по пяти индикаторным показателям в 2012 году

Индикаторные показатели	Пункты		
	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
Среднесезонное значение БПК в толще воды, мг О ₂ /л	3,18	3,27	2,84
<i>F</i> ₁	0,97	1,00	0,87
Среднесезонное значение кислоторастворимых фосфатов в донных отложениях, мг/кг	1629	2204	336
<i>F</i> ₂	0,74	1,00	0,15
Среднесезонное значение нитратного азота в донных отложениях, мг/кг	1,89	2,25	3,00
<i>F</i> ₃	0,63	0,75	1,00
Максимальное сезонное значение биомассы синезеленых водорослей в придонных слоях, мг/л	27,03	51,02	40,93
<i>F</i> ₄	0,53	1,00	0,80
Среднесезонное значение биомассы пелофильных организмов макрозообентоса, г/м ²	14,80	34,17	11,87
<i>F</i> ₅	0,43	1,00	0,35
<i>D</i>	0,63	0,94	0,52

ГЛАВА 7. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМУ ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И УМЕНЬШЕНИЮ МАСШТАБОВ ЕГО «ЦВЕТЕНИЯ»

Результаты изучения основных гидрохимических и ряда гидробиологических характеристик Ижевского водохранилища в течение вегетационных сезонов 2010–12 годов позволяют сделать вывод о том, что первопричиной, вызывающей массовое и продолжительное «цветение» водоема в летне-осенний период, является повышенная биогенная нагрузка на его водную экосистему. Эта нагрузка проявляется, в первую очередь, в поступлении достаточно больших количеств биологически доступных соединений фосфора в толщу воды, которые активно используются в качестве питательных веществ некоторыми группами синезеленых водорослей и способствуют их массовому развитию в пелагиали водоема. Как следствие, основные подходы к решению экологических проблем, связанных с «цветением» воды Ижевского водохранилища, по нашему мнению, могут заключаться в проведении комплекса мероприятий, ограничивающих поступление фосфорсодержащих соединений в экосистему водоема извне и способствующих удалению или иммобилизации фосфора, уже поступившего в водоем (Сиренко, Гавриленко, 1978; Эволюция..., 1988; Хендерсон-Селлерс, Марклэнд, 1990; Прыткова, 2002; Даценко, 2007).

Ограничение поступлений антропогенного фосфора извне может быть достигнуто, в частности, за счет локальной очистки организованных сточных вод коммунально-бытового и сельскохозяйственного происхождения от избытка органических соединений, содержащих фосфор (фекалий, пищевых отходов) и/или отведения этих вод на поля орошения с целью избавления от растворенных фосфатов путем перевода их в состав первичной продукции наземных растений. В случае с Ижевским водохранилищем можно отметить, что основная внешняя фосфорная нагрузка связана с поступлением антропогенных фосфорсодержащих веществ с водосбора через реки-притоки, а также непосредственно с береговым смывом талыми и дождевыми водами, в основном в приплотинной части водоема в районе городской набережной. Чтобы ограничить поступление фосфора в водоем с притоками, вбирающими в себя на территориях г. Ижевска, Завьяловского и Якшур-Бодьинского ад-

министративных районов Удмуртской Республики множество организованных и неорганизованных антропогенных стоков, очистка которых зачастую сопряжена с техническими и финансовыми трудностями, мы рекомендуем рассмотреть вопрос о создании на данных водотоках плотинных прудов-отстойников (одиночных или каскадного типа) в непосредственной близости от мест их впадения в водохранилище. Такими небольшими прудами в процессе их постепенного загрязнения биогенными и иными веществами гораздо проще и дешевле управлять посредством периодического драгирования донного грунта и/или удаления избыточной фитомассы. Проведение аналогичных мероприятий на отдельных участках акватории самого Ижевского водохранилища также может являться актуальным и своевременным, но достаточно дорогостоящим делом. При этом необходимо заметить, что и удаление поверхностного слоя донных отложений, содержащего большое количество легко разлагаемых органических веществ (сапропеля), и периодический сбор фитомассы («урожая») водных и прибрежно-водных сосудистых растений в конце сезона их вегетации может дать положительный эффект в плане снижения уровня внутренней фосфорной нагрузки на водохранилище только в том случае, если скорость удаления фосфора (в единицах массы за единицу времени) из водной экосистемы в составе донных отложений и биомассы водных растений будет больше скорости суммарного поступления этого элемента в водную экосистему извне различными путями.

По итогам исследований 2012 года нами были выявлены два прибрежных участка в верхней части акватории Ижевского водохранилища, наиболее перспективных в отношении проведения мероприятий по изъятию со дна иловых масс и удалению высшей водной растительности. Для предварительной оценки минимальных значений площади акватории, в пределах которой необходимо подвергнуть очистке от иловых отложений мелководные участки дна в выбранных местах, были приняты во внимание следующие исходные положения.

1. Летне-осенние «вспышки» численности синезеленых водорослей в Ижевском водохранилище во многом определяются общим запасом доступных соединений фосфора, который постоянно и циклически мигрирует в обменном фонде экосистемы по пути «вода — биомасса продуцентов — донные отложения». При этом

суммарные сезонные значения внутренней фосфорной нагрузки на водоем на порядок выше внешней.

2. Массовые «вспышки» численности цианопрокариот предваряются повышением концентрации фосфатов в толще воды в июле-августе до 0,2 мг/л в поверхностных слоях водоема и до 0,3 мг/л и выше в придонных слоях. При концентрациях растворенных фосфатов в толще воды, составляющих менее 0,04 мг/л, значительного «цветения» воды не наблюдается.

3. В период массового развития синезеленых водорослей в Ижевском водохранилище в составе их биомассы может аккумулироваться до 0,6 т фосфора. Еще около 2,8 т фосфора временно изымается из пелагиали водоема биомассой макрофитов. Отмирание и разложение фитомассы, продуцированной за вегетационный сезон, возвращает большую часть фосфора в состав толщи воды и поверхностных фракций донных отложений водохранилища.

4. В поверхностных слоях илистых донных отложений Ижевского водохранилища временно удерживаются значительные концентрации фосфора в составе легкоразлагаемых фосфорорганических соединений, а также в виде малорастворимых неорганических форм фосфора и подвижных фосфатов поровых вод донного грунта. За лето эти запасы снижаются на мелководьях в среднем от 0,58 до 0,03 % массы сухого вещества в пересчете на фосфор кислоторастворимых фосфатов — главным образом, в результате минерализации донных органических веществ и выделения фосфатов в пелагиаль в благоприятных условиях летнего повышения температуры воды. Затем запасы донного фосфора вновь восполняются в процессе седиментации органических остатков гидробионтов и продуктов их жизнедеятельности, а также сорбции и осаждения подвижных фосфатов.

Исходя из этих данных, чтобы снизить внутреннюю фосфорную нагрузку на Ижевское водохранилище и удержать летние концентрации фосфатов в толще воды на уровне не более 0,04 мг/л, необходимо за вегетационный сезон удалять около 10–20 т фосфора. С учетом среднесезонного содержания общего фосфора в поверхностном 5-сантиметровом слое мелководных илистых отложений в верховьях пруда около 20 г/м², оптимальные площади акватории, на которых рекомендуется проводить очистку дна от иловых масс, должны составлять в среднем 75 га в год. Общая продолжительность дноочистительных работ на водохранилище должна быть

не менее 3–5 лет. При этом иловые массы необходимо удалять без возврата их растворимых компонентов в водоем с береговым смывом или в составе дренажных вод, что не делалось ранее в 2006–08 годах при проведении дноуглубительных работ в нижнем плесе водохранилища в районе устья реки Малиновки. Тогда изъятый землесосным снарядом донный грунт в смеси с водой (в виде пульпы) намывался в прибрежную зону водохранилища, отгороженную глиняной дамбой от остальной его акватории. При этом пульпа отстаивалась, а вода из нее отводилась через дренажные трубы обратно в Ижевское водохранилище, а с ней и большая часть растворенных биогенных элементов, в том числе фосфатов и других продуктов минерализации органической фракции ила, сводя эффективность очистки к минимуму.

Целенаправленные мероприятия по удалению избытка фосфора из экосистемы Ижевского водохранилища в составе биомассы водных организмов наиболее просто и экономично могут быть реализованы в отношении высшей водной и прибрежно-водной растительности, представители которой наращивают максимальную фитомассу к середине-концу лета и особенно обильно развиваются в верхнем плесе. Некоторые исследователи, занимающиеся проблемами восстановления антропогенно нарушенных пресноводных экосистем (Прыткова, 2002; Садчиков, Кудряшов, 2004), полагают, что для предотвращения активизации процессов эвтрофирования, обмеления и заболачивания стоячих водоемов необходимо поддерживать площадь зарастания их высшей водной растительностью на уровне не более 20–25 % от всей площади водного зеркала. По оценкам различных авторов (Варфоломеева, 1975; Лихачева, 2007), степень зарастания Ижевского водохранилища в летний период достигает 40 %, из которых 10 % приходится на сплавины, остальные 30 % — на сообщества водных и прибрежно-водных растений. Наиболее интенсивно зарастает мелководный верхний плес водохранилища, а также Юровский и Пазелинский заливы.

Таким образом, чтобы замедлить развитие процессов эвтрофирования в Ижевском водохранилище, необходимо охватить сезонными работами по удалению фитомассы водных и прибрежно-водных макрофитов участки водоема с суммарной площадью не менее 130 га (около 5 % площади акватории). При этом, учитывая различные сроки и продолжительность вегетации разных групп

водных сосудистых растений, целесообразно каждый сезонный цикл работ разбить на две фазы:

1) июль-август — удаление погруженных гидрофитов (рдестов блестящего, пронзеннолистного и гребенчатого, роголистника погруженного, элодеи канадской *Eloдея canadensis* Michx), а также гидрофитов с плавающими листьями (кубышки желтой, рдеста плавающего *Potamogeton natans* L. и представителей сем. *Lemnaceae*);

2) сентябрь-октябрь — удаление высокотравных гелофитов (тростника обыкновенного, рогозов узколистного и широколистного *Typha latifolia* L., камыша озерного).

В то же время следует сохранять нетронутыми прибрежные заросли высокотравных гелофитов (в виде полосы вдоль берега шириной 30–50 м), а также сплавины, сформировавшиеся вдоль береговой линии, поскольку они выполняют важную барьерную функцию на пути поступления загрязняющих веществ с водосборного бассейна водохранилища, эффективно накапливая их в составе своей фитомассы.

Что касается каких-либо мероприятий по «биоманипуляции» экосистемой Ижевского водохранилища, связанных с запуском (вселением) различных компонентов биоты, которые рассматриваются в качестве прямых или косвенных антагонистов синезеленых водорослей, то, несмотря на относительную дешевизну, они нуждаются в предварительном и всестороннем анализе возможных последствий-эффектов их реализации — как положительных, так и отрицательных; как постоянных, так и временных. Внесение в водоем дополнительной биомассы организмов в результате альголизации, зарыбления или других аналогичных мероприятий по интродукции и акклиматизации каких-либо аллохтонных видов гидробионтов в любом случае будет сопровождаться определенным (пусть локальным и временным) повышением биогенной нагрузки на водную экосистему, что в свете ограничения процессов эвтрофикации не всегда желательно. При этом ожидаемый положительный экологический эффект может быть не достигнут. К примеру, результаты наших исследований 2010 года показали, что вселение в 2009–10 годах в Ижевское водохранилище культурного штамма хлореллы как потенциального конкурента синезеленых водорослей не привело к желаемым результатам по ограничению процессов «цветения» водоема.

Ранее Ижевское водохранилище неоднократно подвергалось зарыблению различными видами аллохтонной ихтиофауны как с целью повышения его рыбохозяйственного потенциала, так и в качестве биоманипуляций для получения положительного экологического эффекта, в частности, для уменьшения процессов зарастания и «цветения» (Варфоломеев, 1967; Истомина и др., 2008; Тепляков, 2008). В последнем случае в 2003–05 годах несколько раз в водохранилище запускались растительноядные виды рыб, в том числе белый толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.) — вид, специализирующийся по питанию фитопланктоном. Предполагалось, что белый толстолобик будет выполнять функцию эффективного биомелиоратора, выедавая значительную часть фитопланктона, который в летне-осенний период представлен в Ижевском водохранилище преимущественно синезелеными водорослями. Какого-либо значимого экологического или рыбохозяйственного эффекта от реализации мероприятий по вселению белого толстолобика в этот водоем получено не было, что, по нашему мнению, связано со следующими причинами.

Большинство положительных результатов выращивания белого толстолобика было получено для водоемов южных регионов России и сопредельных стран (Нехай, 1966; Яковчук, 1968 и др.), а в более высоких широтах — для водоемов-охладителей энергетических производств (Зубарева, Костылев, 2001), так как пищевая активность и репродуктивные возможности этого вида существенно зависят от температурных условий (Атлас..., 2003). Кроме того, у белого толстолобика существует определенная избирательность питания в отношении разных таксонов синезеленых водорослей (Савина, 1968; Омаров, Лазарева, 1974): в летний период интенсивно выедаются виды из родов *Microcystis* и *Aphanizomenon*, но избегаются потреблением длиннонитчатые формы осцилляториевых, а также виды из рода *Anabaena*. Именно последние таксономические группы цианопрокариот чаще всего преобладают по численности и биомассе в Ижевском водохранилище в летне-осенние периоды последних лет.

Мы полагаем, что использование белого толстолобика как регулятора численности массовых видов синезеленых водорослей в водной пищевой цепи «продуцент-консумент» вообще не может быть эффективным, так как процессы их «цветения» в водных экосистемах управляются не «сверху» (потребителями этих водорос-

лей), а «снизу»: количеством доступных пищевых ресурсов, в первую очередь соединений фосфора, реже — азота. Об этом свидетельствует множество исследований, посвященных проблемам «цветения» воды, в том числе и результаты наших изысканий 2010–12 годов. Таким образом, зарыбление «цветущего» водоема белым толстолобиком может дать лишь определенный рыбохозяйственный эффект при условии, что в водоеме будут предпочитаемые им в качестве пищевых объектов виды водорослей и благоприятный для питания температурный режим, а также желательно наличие подходящих репродуктивных и зимовальных биотопов для образования этим видом устойчивых самовоспроизводящихся популяций. В Ижевском водохранилище подобные условия в целом отсутствуют.

В то же время по показателям первичной и вторичной продукции планктона Ижевское водохранилище может считаться достаточно продуктивным мезотрофным водоемом с признаками эвтрофии в отдельные месяцы (Китаев, 1984). По результатам наших исследований 2010 года, показатели биомассы зоопланктона с мая по сентябрь составляли в среднем $1,42 \text{ г/м}^3$ в открытой русловой части, $2,68 \text{ г/м}^3$ в прибрежной зарастающей части, достигая пиковых значений более 12 г/м^3 в июле на участках верхнего плеса. По нашим расчетам, продукционные показатели зоопланктона Ижевского водохранилища могли бы способствовать наращиванию продукции рыб-планктофагов до 50–100 тонн в год, то есть до 20–40 кг/га в год. Однако по результатам последних исследований Пермского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ» от 2006 года биомасса единственного аборигенного вида-зоопланктофага — уклейки — составляет в Ижевском пруду менее 1 кг/га (Истомина и др., 2008), соответственно еще меньше показатели годовой продукции этого вида рыб. Таким образом, даже с учетом возможностей использования в пищу организмов зарослевого зоопланктона в прибрежье водоема в летний период личинками и ранней молодью некоторых других видов рыб, следует признать, что в целом кормовая база зоопланктона в Ижевском водохранилище на настоящий момент в значительной степени недоутилизируется аборигенной ихтиофауной. В связи с этим неоднократно рассматривались возможности зарыбления данного водоема видами рыб, специализирующимися по питанию планктонными животными: в частности, пестрым толстолобиком *Aristichthys nobilis* (Rich.), европейской ряпушкой

Coregonus albula (L.), пелядь *Coregonus peled* (Gmelin), синцом *Abramis ballerus* (L.), черноморско-каспийской тюлькой *Clupionella cultriventris* (Norm.) и серебряным карасем *Carassius auratus gibelio* (Bloch).

К сожалению, современные абиотические условия в Ижевском водохранилище неприемлемы для обитания многих из перечисленных выше видов рыб (особенно сиговых) по параметрам кислородного режима, так как в рассматриваемом водоеме часто отмечаются летние заморные явления у дна и зимние заморные явления в прибрежье. Для пестрого толстолобика, который по сравнению с белым еще более теплолюбив (Атлас..., 2003), водохранилище характеризуется также неблагоприятным температурным режимом, за исключением локального участка в правобережье нижнего плеса, где происходит выпуск подогретых сточных вод ТЭЦ-1 г. Ижевска. Многолетнее существование большинства из рассматриваемых видов ихтиофауны (кроме серебряного карася) в водоеме после зарыбления и тем более возможность образования ими устойчивых самовоспроизводящихся популяций подвергается нами сомнению. В свою очередь, серебряный карась, в летнем рационе которого зарослевый зоопланктон, как правило, составляет достаточно высокую долю (Котегов, 2008), наименее чувствителен к дефициту кислорода из всех видов рыб-зоопланктофагов, рекомендуемых для интродукции, и проблем с размножением в условиях небольших стоячих и малопроточных водоемов России у него не бывает с учетом уникальной возможности образования им гиногенетических популяций. Таким образом, именно серебряный карась является одним из перспективных объектов ихтиофауны для акклиматизации его в Ижевском водохранилище в целях биологической мелиорации этого водоема. Рыбохозяйственный же эффект подобного мероприятия требует отдельной оценки.

В рамках проведения комплексных мероприятий по экологической реабилитации Ижевского водохранилища и увеличению его рыбохозяйственного потенциала мы рекомендуем также рассмотреть возможность увеличения численности популяции щуки, обитающей в данном водоеме, за счет запуска дополнительных количеств рыбопосадочного материала этого вида. По данным Пермского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ», биомасса щуки в Ижевском водохранилище составляла в 2006 году около 2 кг/га (Истомина и др., 2008), что явно не соответствует возможностям ее кор-

мовой базы в водоеме. По данным ряда авторов (Варфоломеев, 1967; Силивров, 2008), щука в водохранилищах и крупных прудах умеренной зоны России предпочитает питаться плотвой и речным окунем. В Ижевском водохранилище биомасса плотвы составляет в настоящее время более 30 кг/га (это самый многочисленный вид ихтиофауны), окуня — еще порядка 9 кг/га, исходя из чего можно рассчитывать на биомассу хищников, активно питающихся этими видами рыб, равную не менее 4 кг/га. Щука, по сравнению с другими рыбами-хищниками наших водоемов (налимом *Lota lota* L., обыкновенным судаком *Sander lucioperca* (L.), обыкновенным жерехом *Aspius aspius* (L.)), менее требовательна к содержанию в воде растворенного кислорода и имеет наиболее широкий температурный диапазон пищевой активности. Как следствие, повышение численности аборигенной популяции щуки в Ижевском водохранилище за счет проведения целенаправленных рыбоводно-мелиоративных мероприятий может быть оправданным с экологических позиций и даст положительный рыбохозяйственный эффект, если будут обеспечены благоприятные условия для размножения этого вида, в частности, исключен браконьерский вылов щуки в сезон нереста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрохимические и гидробиологические исследования Ижевского водохранилища, проведенные в 2010–12 годах сотрудниками биолого-химического факультета Удмуртского государственного университета при поддержке Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики, позволяют сделать вывод о неблагоприятном состоянии его экосистемы. Вода Ижевского водохранилища не соответствует санитарно-гигиеническим нормативам качества по ряду физико-химических показателей: цветности, прозрачности, ХПК, БПК и содержанию ионов некоторых металлов (железа, марганца, меди). В летне-осенние периоды в акватории водоема регулярно отмечаются «вспышки» численности синезеленых водорослей, обусловленные сезонным повышением внутренней биогенной нагрузки, в первую очередь, за счет периодического выделения подвижных и биологически доступных соединений фосфора из состава детритно-илистых фракций донных отложений. Значительные масштабы «цветения» Ижевского водохранилища и зарастания его верхней части высшей водной растительностью, а также периодические летне-осенние «вспышки» численности зоопланктона с преобладанием в его составе мелких фильтраторов-детритофагов, свидетельствуют о повышении трофического статуса данного водоема до категории эвтрофного. Химические и биологические эффекты эвтрофирования, зарегистрированные за время исследований в водохранилище, можно рассматривать как последствия многолетнего антропогенного загрязнения его акватории, расположенной в черте крупного промышленного города, а также принимающей загрязненный речной сток с загородной территории водосбора, частично трансформированной сельским хозяйством и нефтедобычей. Для уменьшения негативных последствий антропогенного эвтрофирования Ижевского водохранилища и повышения качества его воды до уровня стандартов, позволяющих беспрепятственно использовать ее на хозяйственно-питьевые нужды г. Ижевска, необходимо осуществить комплекс эколого-реабилитационных мероприятий в акватории водоема и на его водосборе, направленных на снижение внешней и внутренней биогенной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

- Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
- Алексеев В.В., Крышев И.И., Садыкина Т.Г.* Физическое и математическое моделирование экосистем. СПб.: Гидрометеониздат, 1992. 366 с.
- Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
- Атлас пресноводных рыб России / Под ред. Ю.С. Решетникова. В 2-х т. М.: Наука, 2003. Т. 1. 379 с.
- Байрактар В.Н., Полукарова Л.А.* Экологическая оценка прибрежных акваторий Куяльницкого лимана: макрофиты, зообентос, микробное разнообразие в воде и пелоидах // Биол. вест. Мелит. гос. пед. ун-та. 2012. № 2 (5). С. 27–37.
- Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Степанова И.Э.* Химический состав вод // Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века. М.: Наука, 2008. С. 35–52.
- Богданов Н.И.* Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями. Пенза: РИО ПГСХА, 2007. 76 с.
- Бульон В.В., Никулина В.Н., Павельева Е.Б., Степанова Л.А., Хлебович Т.В.* Микробиальная «петля» в трофической сети озерного планктона // Журн. общ. биол. 1999. Т. 60. № 4. С. 431–444.
- Варфоломеев В.В.* Биология промысловых рыб прудов-водохранилищ Удмуртии // Учен. зап. Перм. гос. пед. ин-та. 1967. Вып. 41. С. 49–150.
- Варфоломеева Т.А.* Растительность Ижевского водохранилища / Дисс. ... канд. биол. наук. Ижевск: УдГУ, 1975. 276 с.
- Варфоломеева Т.А.* Основные растительные формации Ижевского водохранилища и их продуктивность // Бот. журн. 1976. Т. 61. № 6. С. 896–900.
- Власов Б.П., Гигевич Г.С.* Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды: Метод. реком. Минск: БГУ, 2002. 84 с.
- Водоросли: Справочник / Отв. ред. С.П. Вассер. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 280 с.
- Выхристок Л.А.* Биогенная нагрузка и гидрохимический режим // Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л.: Наука, 1989. С. 73–150.

Выхристюк Л.А., Варламова О.Е. Донные отложения и их роль в системе Куйбышевского водохранилища. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 174 с.

Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2: Синезеленые водоросли. М.: Сов. наука, 1953. 652 с.

Гутельмахер Б.Л. Метаболизм планктона как единого целого: трофометаболические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. Л.: Наука, 1986. 155 с.

Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ: гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.

Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Л.А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 8: Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 232 с.

Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Academia, 2006. 240 с.

Егоров И.Е. Хозяйственная деятельность человека и источники загрязнения // Ижевский пруд / Под ред. В.В. Туганаева. Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2002. С. 73–77.

Жукова Т.В. Режим фосфора, его роль в биотическом круговороте и эвтрофировании (на примере озер Нарочанской группы) // Гидробиол. журн. 1989. Т. 25. № 4. С. 24–28.

Захаров В.Ю. Схема окрасочных фенов для окуня *Perca fluviatilis* и пример ее применения // Фауна и экология животных УАССР и прилегающих районов. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1989. С. 26–39.

Захаров В.Ю. Современное состояние зообентоса Ижевского водохранилища как отражение экологической обстановки // Тез. докл. V Росс. ун.-акад. науч.-практ. конф. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 2001. Ч. 6. С. 62–64.

Зубарева Э.Л., Костылев В.А. Проблемы тепловодного рыбоводства на Среднем Урале // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. С. 51–52.

Иванов Д.В., Законов В.В., Маланин В.В. Донные отложения // Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан. Казань: Изд-во «Фэн», 2003. С. 93–118.

Иванова Н.А., Шарипова Л.А. Состояние фитопланктона Ижевского пруда в районе водозабора МУП города Ижевска «Ижводоканал» в 2002-2005 годах // Вест. Удм. ун-та. 2006. Сер. Биология. № 10. С. 17–24.

Истомина А.М., Истомин С.Г., Казакова Н.С., Поздеев И.В., Селеткова Е.Б. Экологическое состояние Ижевского пруда // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование. Пермь:

Изд-во Перм. ун-та, 2008. С. 46–51.

Казанцева Т.И. Балансовая модель экосистемы мелкого высокоэвтрофного озера // Журн. общ. биол. 2003. Т. 64. № 2. С. 128–145.

Капитонова О.А. Макрофиты в условиях промышленной среды. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 2007. 168 с.

Капитонова О.А., Тукманова С.Р., Калинин О.В. Некоторые особенности биологии и анатомо-морфологического строения макрофитов в условиях теплового загрязнения поверхностных вод // Вест. Удм. ун-та. 2004. Сер. Биология. № 10. С. 51–62.

Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Л.: Наука, 1981. 187 с.

Киселев И.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6: Пиррофитовые водоросли. М.: Сов. наука, 1954. 212 с.

Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 208 с.

Кокин К.А. Экология высших водных растений. М.: Изд-во МГУ, 1982. 160 с.

Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Флора Вятского края. Ч. 2. Водоросли (видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров: Киров. обл. тип., 2007. 192 с.

Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 1986. 472 с.

Копылов А.И., Косолапов Д.Б., Романенко А.В., Крылов А.В., Корнева Л.Г., Гусев Е.С. Микробная «петля» в планктонных сообществах озер разного трофического статуса // Журн. общ. биол. 2007. Т. 68. № 5. С. 350–360.

Корсак Н.Б., Мякушко В.К. Формирование качества воды на мелководьях Южного водохранилища (канал Днепр – Кривой Рог) под влиянием зарослей высшей водной растительности // Гидробиол. журн. 1981. Т. 17. № 1. С. 48–54.

Котегов Б.Г. Комплексный анализ морфологических отклонений у плотвы *Rutilus rutilus* (L.) из водоемов Удмуртии // Вест. Удм. ун-та. 2001а. Сер. Экология. № 7. С. 143–151.

Котегов Б.Г. Биоиндикационная оценка и прогноз состояния экосистем старых водохранилищ Удмуртии // Экологические и социально-гигиенические аспекты окружающей человека среды. Рязань: Поверенный, 2001б. С. 85–88.

Котегов Б.Г. Особенности видового состава, биологических и популяционно-морфологических показателей рыб в условиях теплового загрязнения водоемов г. Ижевска // Вест. Удм. ун-та. 2004. Сер. Биология. № 10. С. 209–218.

Котегов Б.Г. Фауна и экология рыб малых рек Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 96 с.

Котегов Б.Г. Некоторые особенности популяционной структуры и биологические характеристики двух видов карасей, обитающих совместно в пойменном озере // Современное состояние и пути развития популяционной биологии. Ижевск: КнигоГрад, 2008. С. 148–151.

Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.

Крючкова Н.М. Структура сообществ зоопланктона в водоемах разного типа // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. Л.: Наука, 1987. С. 184–198.

Крючкова Н.М. Трофические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. М.: Наука, 1989. 124 с.

Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Низкомолекулярные вторичные метаболиты высших водных растений и перспективы управления автотрофным звеном в водных экосистемах // Биология внутренних вод. Кострома: Костром. печат. дом, 2013. С. 29–60.

Лазарева В.И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М.: Тов. науч. изд. КМК, 2010. 183 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.

Левич А.П., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г. Теоретическая и экспериментальная экология планктонных водорослей: Управление структурой и функциями сообществ. М.: Изд-во НИЛ, 1997. 184 с.

Лисицына Л.И., Папченков В.Г. Флора водоемов России: Определитель сосудистых растений. М.: Наука, 2000. 237 с.

Лихачева Т.В. Предварительные результаты изучения растительного покрова Ижевского водохранилища // Вест. Удм. ун-та. 2003. Сер. Биология. С. 11–20.

Лихачева Т.В. Растительность заводских прудов-водохранилищ Удмуртии // Вест. Удм. ун-та. 2004. Сер. Биология. № 10. С. 75–84.

Лихачева Т.В. Эколого-фитоценологические закономерности распределения растительного покрова водохранилищ Удмуртской Республики / Дисс. ... канд. биол. наук. Ижевск: УдГУ, 2007. 344 с.

Логинова Е.В., Лопух П.С. Гидроэкология: Учеб. пособие. Минск: БГУ, 2011. 300 с.

Ляшенко О.А. Развитие *Planktothrix agardhii* (Cyanophyta) в водоемах бассейна верхней Волги // Бот. журн. 2001. Т. 56. № 7. С. 61–65.

Ляшенко О.А., Бабаназарова О.В. Фитопланктон // Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века. М.: Наука, 2008. С. 71–89.

Мартынова М.В. Азот и фосфор в донных отложениях озер и водохранилищ. М.: Наука, 1984. 158 с.

Мартынова М.В. Роль некоторых бентосных организмов в удалении соединений азота и фосфора из донных отложений (обзор) // Гидробиол. журн. 1985. Т. 21. № 6. С. 44–48.

Мартынова М.В. О некоторых механизмах поступления фосфора со дна в воду и их оценка // Докл. АН СССР. 1988. Т. 298. № 3. С. 715–717.

Мартынова М.В. Об участии макрофитов в процессе обмена соединениями азота и фосфора между донными отложениями и водой // Водн. ресурсы. 1995. № 1. С. 115–120.

Матвиенко А.А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3: Золотистые водоросли. М.: Сов. наука, 1954. 188 с.

Мережко А.И. Эколого-физиологические исследования высших водных растений в связи с их ролью в самоочищении водоемов // Гидробиол. журн. 1973. № 4. С. 118–125.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зообентос и его продукция / Под ред. Ю.А. Барулина. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 51 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зоопланктон и его продукция / Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР, 1982. 33 с.

Методы гидрботанических исследований: Метод. указ. по сбору и обработке материалов по высшим водным и прибрежно-водным растениям / Сост. О.А. Капитонова. Ижевск: Изд-во УдГУ, 2004. 40 с.

Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.

Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология. М.: Высш. шк., 2007. 463 с.

Михеева Т.М. Сукцессия видов в фитопланктоне: определяющие факторы. Минск: Изд-во БГУ, 1983. 72 с.

Монаков А.В. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: ИПЭЭ РАН, 1998. 320 с.

Морозова-Водяницкая Н.В. Фитопланктон Черного моря. Ч. 2. // Тр. Севастоп. биол. ст. 1954. № 14. С. 11–19.

Нестерова Д.А., Василенко Л.С. Фитопланктон и фитонейстон мелководных заливов Черного моря // Экология моря. 1986. Вып. 23. С. 24–30.

Нехай В. Итоги выращивания растительоядных рыб в Молдавии // Рыбохозяйственное освоение растительоядных рыб. М.: Наука, 1966. С. 83–88.

Омаров М.О., Лазарева Л.П. Питание белого толстолобика в водоемах Дагестана // Гидробиол. журн. 1974. Т. 10. № 4. С. 100–104.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: Планктон и бентос / Под. ред. Л.А. Кутиковой и Я.И. Старобогатова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 511 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1: Низшие беспозвоночные / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1994. 394 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2: Ракообразные / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1995. 627 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 3: Паукообразные. Низшие насекомые / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1997. 448 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4: Высшие насекомые (Двукрылые) / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1999. 1000 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5: Высшие насекомые / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2001. 836 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6: Моллюски. Полихеты. Немертины / Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2004. 528 с.

Отчет о эколого-геологическом обследовании Ижевского пруда / Мат. ГГП «Волгагеология» Минприроды РФ. Неклюдово, 1999. Т. 1. Кн. 1. 143 с.

Папченков В.Г. Динамика и индикационные свойства растительного покрова вод // Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья. М.: Наука, 2003. С. 187–211.

Петухова И.П. Восстановление водоемов в зоне активного антропогенного воздействия (на примере озера Шарташ) // Вопросы гидрологии суши. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 161–163.

Попова Т.Г. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7: Эвгленовые водоросли. М.: Сов. наука, 1955. 282 с.

Прыткова М.Я. Научные основы и методы восстановления озерных экосистем при разных видах антропогенного воздействия. СПб.: Наука, 2002. 148 с.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Рысин И.И. Ижевский пруд // Удмуртская Республика: Энциклопедия. Ижевск: Удмуртия, 2004. С. 361.

Савина Р.А. Питание белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.) в прудах / Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Рыбное, 1968. 24 с.

Садчиков А.П. Значение и роль зоопланктона в трансформации органического вещества. 1. Трофические взаимоотношения в планктонном сообществе (обзор) // Биол. науки. 1993. № 3–4. С. 5–23.

Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности. М.: Изд-во НИА-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.

Своекошин В.И. Гидрография и гидрология // Ижевский пруд / Под ред. В.В. Туганаева. Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2002а. С. 53–59.

Своекошин В.И. Гидрологическая характеристика пруда // Ижевский пруд / Под ред. В.В. Туганаева. Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2002б. С. 81–87.

Сеничкина Л.Г. К методике вычисления объемов клеток планктонных водорослей // Гидробиол. журн. 1978. Т. 14. № 5. С. 102–105.

Сигарева Л.Е. Некоторые данные об изменении концентрации пигментов фитопланктона и pH среды в склянках при изменении фотосинтеза // Биол. внут. вод: Информ. бюл. 1980. № 46. С. 23–26.

Сиделев С.И. Сукцессия фитопланктона высокоэвтрофного озера Неро // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Борок: ИБВВ РАН, 2010. 26 с.

Силивров С.П. Эколого-морфологическая изменчивость щуки (*Esox lucius* L.) и ее хозяйственное значение в разнотипных водоемах Урала // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Пермь: ПГУ, 2008. 26 с.

Синельников В.Е. Откуда перекись в реке? // Химия и жизнь. 1980. № 12. С. 60–61.

Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и евтрофирование (методы его ограничения и использование сестона). Киев: Наук. думка, 1978. 232 с.

Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наук. думка, 1988. 256 с.

Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Миаити А. Введение в экологическую химию. М.: Высш. шк., 1994. 400 с.

Сохранение природной экосистемы водоема в урбанизированном ландшафте / Отв. ред. Е.А. Стравинская. Л.: Наука, 1984. 144 с.

Стурман В.И., Гагарина О.В., Забродин Н.А., Юрк С.А., Подсизерцев В.М. Экологическое состояние пруда // Ижевский пруд / Под ред. В.В. Туганаева. Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2002. С. 165–187.

Судницына Д.Н. Экология водорослей. Псков: Изд-во ПГПУ, 2005. 128 с.

Суцены Л.М. Количественные закономерности питания ракообразных. Минск: Наука и техника, 1975. 206 с.

Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии. М.: Наука, 1990. 288 с.

Тепляков А.В. Мониторинг ихтиофауны Ижевского водохранилища // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2008. С. 116–

Трифорова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.

Хатчинсон Д. Лимнология. М.: Прогресс, 1969. 592 с.

Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера: Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 280 с.

Чуйков Ю.С. Методы экологического анализа состава и структуры сообществ водных животных. Экологическая классификация беспозвоночных, встречающихся в планктоне пресных вод // Экология. 1981. № 3. С. 71–77.

Шашуловская Е.А. Роль мелководий в самоочищении равнинных водохранилищ (на примере Волгоградского водохранилища) / Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Н. Новгород: ННГУ, 2010. 24 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.

Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод / Под ред. К.Я. Кондратьева и И.С. Коплан-Дикса. Л.: Наука, 1988. 204 с.

Яковчук М.П. Опыт совместного выращивания двухлетков белого толстолобика и карпа в условиях Краснодарского края // Новые исследования по экологии и разведению растительных рыб. М.: Наука, 1968. С. 97–105.

Якубовский К.Б., Мережко А.И., Нестеренко Н.П. Накопление высшими водными растениями элементов минерального питания // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 57–62.

Якубовский К.Б., Величко И.М., Пасичный А.П., Сидоренко В.М., Хороших Л.А. Роль мелководий водохранилищ днепровского каскада в изъятии биогенов из речного стока // Гидробиол. журн. 1989. Т. 25. № 3. С. 16–20.

Ettl H. Chlorophyta I: Phytomonadina // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 9. Jena, 1983. 807 p.

Ettl H., Gärtner G. Chlorophyta II: Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 10. Jena, 1988. 436 p.

Kleeberg A. Re-assessment of Wundsch's (1940) «H₂S-Oscillatoria-Lake» type using the eutrophic Lake Scharmützel (Brandenburg, NE Germany) as an example // Hydrobiologia, 2003. Vol. 501 (1–3). P. 1–5.

Komárek J. Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes: Nostocales // Arch. Hydrobiol. 1989. Suppl. 82. H. 3. P. 247–345. (Alg. Stud. 56).

Komárek J. Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 1: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19 (1). Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm, 1998. 548 p.

Komárek J. Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 2 (2): Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19 (2). Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm, 2005. 759 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaeae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2 (1). Jena, Stuttgart, 1986. 876 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2 (2). Jena, Stuttgart, 1988. 596 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2 (3). Jena, Stuttgart, 1991a. 576 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantheae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2 (4). Jena, Stuttgart, 1991b. 436 p.

Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classifications of the freshwater phytoplankton // Journal of Plankton Research. 2002. Vol. 24. № 5. P. 417–428.

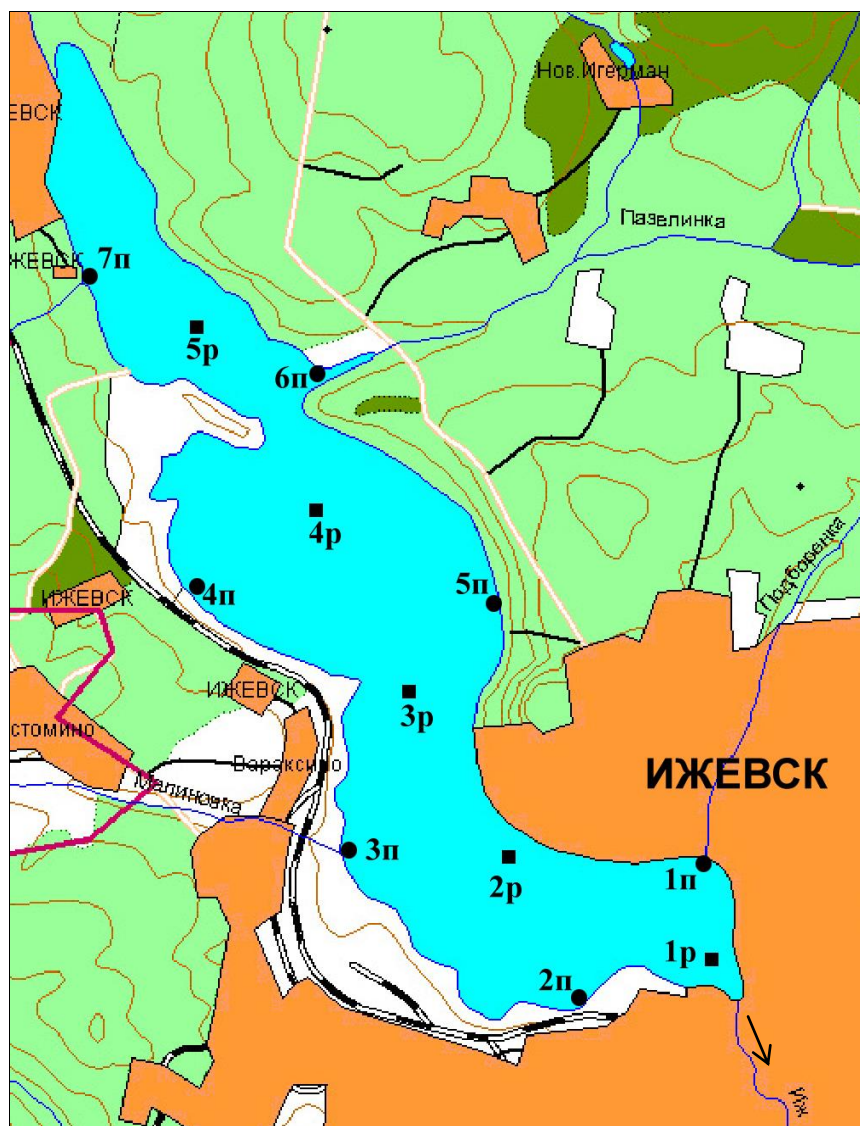
Scheffer M., Rinaldi S., Gragnani A., Mur L.R., Van Nes E.H. On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes // Ecology. 1997. Vol. 78. № 1. P. 272–278.

Vollenweider R.A. Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology // Schweiz. Z. Hydrol. 1975. Vol. 37. № 1. P. 53–84.

Vollenweider R.A., Kerekes J. Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication // Restoration of Lakes and Inland Waters. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1980. P. 25–36.

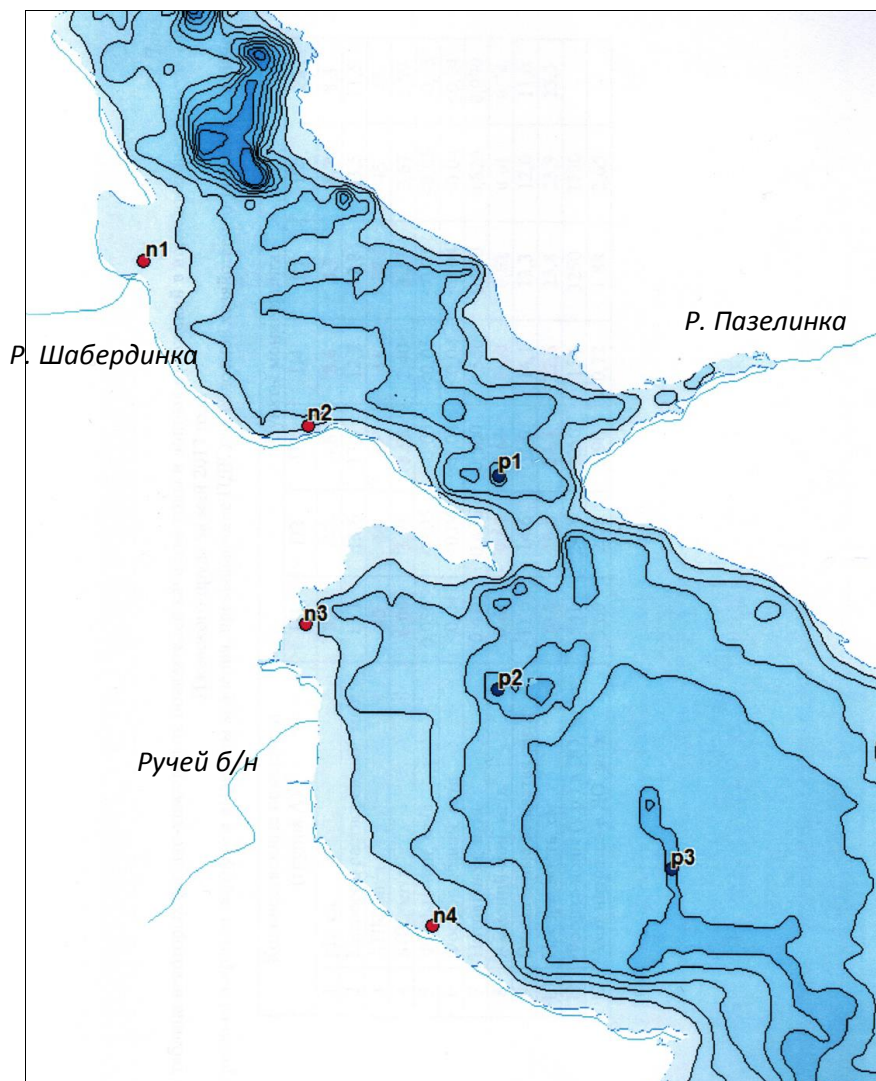
Приложение 1

Карта-схема Ижевского водохранилища с указанием мест отбора гидрохимических и гидробиологических проб в 2010–11 годах (масштаб 1 : 65000)



Приложение 2

Карта-схема верхней части Ижевского водохранилища с указанием мест отбора гидрохимических и гидробиологических проб в 2012 году (масштаб 1 : 30000)



Приложение 3.1

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за май 2010 года (**жирным шрифтом** выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Количественные показатели	Пункты отбора проб											
	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Температура, °С	10,9	13,5	12,5	11,5	11,5	12,5	13,0	12,9	14,0	13,1	12,5	14,3
Цветность, град.	77,0	83,3	104,7	95,2	103,7	67,8	93,8	91,7	110,7	98,7	81,9	88,2
рН, ед.	8,1	7,9	8,0	7,8	7,7	8,1	8,1	8,7	7,9	8,7	7,8	7,7
Кислород раств., мг/л	9,75	9,25	11,00	10,90	10,10	10,90	9,67	11,90	10,40	12,30	9,75	10,10
ХПК, мг/л	21,5	27,6	34,0	34,3	31,7	28,0	23,8	32,8	33,5	33,6	27,9	28,1
БПК, мг/л	2,09	2,21	3,20	2,38	2,34	3,65	2,80	4,33	2,80	3,72	2,78	1,81
Фосфат-ион, мг/л	0,0670	0,0700	0,0810	0,0530	0,0516	0,0558	0,0700	0,0530	0,0720	0,0551	<0,05	0,0585
Нитрат-ион, мг/л	2,32	2,14	1,69	1,14	1,25	2,54	1,77	1,10	1,63	1,03	1,71	1,20
Аммоний-ион, мг/л	0,29	0,38	0,44	0,42	0,56	0,27	0,35	0,36	0,44	0,45	0,40	0,54
Железо общ., мг/л	0,299	0,325	0,410	0,400	0,420	0,273	0,328	0,303	0,380	0,350	0,299	0,360
Марганец, мг/л	0,139	0,121	0,064	0,043	0,037	0,106	0,088	0,057	0,054	0,044	0,028	0,037
Медь, мг/л *10 ⁻³	2,35	2,44	3,10	3,20	2,80	2,80	2,80	3,70	2,7	2,45	2,80	2,47
Кальций, мг/л	26,8	25,8	22,0	24,9	26,3	27,8	24,2	24,6	21,8	22,2	33,9	29,7
Сульфат-ион, мг/л	9,4	8,6	8,4	13,4	13,2	9,9	9,4	10,4	9,0	9,8	19,0	14,5
Взвешенные вещества, мг/л	10,5	4,5	11,0	12,5	7,5	13,3	7,0	12,2	14,1	7,5	13,3	8,3
Прозрачность, см	20,0	24,1	15,0	20,3	23,5	18,8	19,7	17,3	17,0	19,3	21,8	26,8

Приложение 3.2

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за июнь 2010 года (**жирным шрифтом** выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Количественные показатели	Пункты отбора проб											
	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Температура, °С	17,8	18,2	17,9	17,7	17,4	17,6	17,4	16,9	17,6	18,2	17,3	17,6
Цветность, град.	53,8	50,3	56,2	62,5	59,0	55,9	56,6	68,5	56,9	53,1	60,1	69,2
рН, ед.	9,0	8,8	8,8	8,5	8,5	8,9	8,2	8,5	8,8	8,8	8,6	8,4
Кислород раств., мг/л	8,17	8,21	7,67	7,33	8,43	8,17	6,57	6,49	7,58	8,55	7,84	7,16
ХПК, мг/л	20,6	30,6	39,9	37,7	37,3	27,8	20,1	36,3	39,4	38,3	35,2	37,3
БПК, мг/л	3,95	2,59	3,89	4,15	4,51	3,61	3,74	6,18	4,02	3,65	4,56	3,56
Фосфор общ., мг/л	0,0250	0,0219	0,0204	0,0240	0,0320	0,0280	0,0380	0,0440	0,0190	0,0460	0,0228	0,0340
Фосфат-ион, мг/л	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Нитрат-ион, мг/л	0,173	0,192	0,173	0,288	0,301	0,179	0,173	0,186	0,256	0,192	0,301	0,346
Аммоний-ион, мг/л	0,218	0,219	0,254	0,215	0,274	0,119	0,177	0,247	0,151	0,178	0,193	0,280
Железо общ., мг/л	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,108	<0,1	<0,1	0,112	0,116
Марганец, мг/л	0,0211	0,0144	0,0520	0,0216	0,0263	0,0170	0,0520	0,0700	0,0206	0,0480	0,0289	0,0540
Медь, мг/л *10 ⁻³	3,40	3,00	3,80	1,98	1,75	2,29	2,60	2,70	2,70	2,29	2,33	1,76
Кальций, мг/л	31,6	30,4	31,9	34,0	38,1	32,0	30,0	31,6	31,1	32,4	35,2	38,5
Сульфат-ион, мг/л	11,9	11,1	11,9	11,5	11,4	11,9	28,3	12,0	11,8	11,5	11,4	11,5
Взвешенные вещества, мг/л	5,7	4,5	9,7	12,8	9,8	8,3	7,5	12,7	8,5	8,5	14,2	11,0
Прозрачность, см	19,4	20,9	19,0	17,3	18,9	19,0	18,5	16,9	20,5	20,4	17,0	21,9

Приложение 3.3

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за июль 2010 года (**жирным шрифтом** выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Количественные показатели	Пункты отбора проб											
	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Температура, °С	23,5	24,1	22,7	22,1	24,1	23,5	23,6	23,3	23,8	24,3	22,8	21,9
Цветность, град.	43,9	47,8	46,7	53,8	55,2	44,6	50,3	49,2	49,5	47,4	49,2	57,3
рН, ед.	9,0	9,0	8,7	8,4	8,2	8,9	8,9	8,9	8,9	9,0	8,1	8,3
Кислород раств., мг/л	9,77	10,20	7,45	5,77	6,81	9,21	9,05	8,89	9,21	9,37	5,29	6,81
ХПК, мг/л	42,0	44,0	41,5	34,4	32,3	41,2	43,0	46,0	43,0	41,3	41,3	33,8
БПК, мг/л	6,45	6,40	6,16	5,40	4,23	5,97	7,00	7,60	8,20	6,55	6,54	5,23
Фосфор общ., мг/л	0,0350	0,0335	0,0750	0,1000	0,0790	0,0243	0,0540	0,0700	0,0350	0,0610	0,0940	0,1050
Фосфат-ион, мг/л	<0,05	<0,05	0,113	0,175	0,224	<0,05	<0,05	0,094	0,080	0,053	0,217	0,232
Нитрат-ион, мг/л	0,147	<0,1	0,506	0,192	0,244	0,154	0,192	0,147	0,186	0,244	0,173	0,244
Аммоний-ион, мг/л	0,41	0,38	0,44	0,55	0,50	0,41	0,44	0,46	0,45	0,40	0,54	0,61
Железо общ., мг/л	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,205	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,380
Марганец, мг/л	<0,01	<0,01	<0,01	0,0149	0,1000	<0,01	0,0268	0,0180	0,0134	<0,01	0,0540	0,1390
Медь, мг/л *10 ⁻³	7,10	1,83	1,91	2,13	1,96	4,10	3,50	4,60	2,43	4,40	2,80	2,50
Кальций, мг/л	33,8	39,9	37,1	39,9	39,9	45,7	35,0	37,0	36,2	39,1	40,3	44,7
Сульфат-ион, мг/л	10,3	9,3	9,3	8,9	8,4	10,2	10,3	9,1	9,4	9,6	9,0	8,8
Взвешенные вещества, мг/л	7,1	13,3	7,0	8,5	9,5	8,3	10,9	12,7	7,0	10,0	11,8	15,0
Прозрачность, см	21,5	18,0	20,9	21,2	27,2	21,7	13,6	16,8	16,8	20,7	22,5	18,9

Приложение 3.4

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за август 2010 года (**жирным шрифтом** выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Количественные показатели	Пункты отбора проб											
	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Температура, °С	26,2	27,5	25,8	26,4	26,0	26,1	26,2	25,7	26,3	27,1	26,5	26,4
Цветность, град.	38,3	37,6	43,9	44,6	44,6	40,4	43,2	43,6	43,9	38,3	41,8	43,2
рН, ед.	9,3	9,5	9,0	8,9	8,5	9,3	9,3	9,1	9,1	9,3	9,0	8,7
Кислород раств., мг/л	10,60	13,90	9,19	9,45	7,75	12,60	10,80	9,28	10,40	12,30	10,50	8,60
ХПК, мг/л	29,8	49,0	39,8	49,0	38,5	30,4	30,4	30,6	55,0	43,0	47,0	47,0
БПК, мг/л	3,52	3,42	5,12	5,63	4,77	5,14	4,65	4,49	6,26	3,67	5,45	3,93
Фосфор общ., мг/л	0,0311	0,0349	0,0272	0,0378	0,0730	0,0301	0,0292	0,0301	0,0710	0,0610	0,1110	0,0830
Фосфат-ион, мг/л	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,111	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,060	0,120	<0,05
Нитрат-ион, мг/л	0,365	0,340	0,256	0,173	0,276	0,340	0,320	0,308	0,256	0,314	0,346	0,308
Аммоний-ион, мг/л	0,272	0,270	0,320	0,320	0,290	0,274	0,300	0,340	0,310	0,330	0,270	0,278
Железо общ., мг/л	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Марганец, мг/л	0,0227	<0,01	0,0670	<0,01	0,0134	0,0186	<0,01	0,0196	<0,01	<0,01	<0,01	0,0144
Медь, мг/л *10 ⁻³	2,07	2,27	1,10	1,29	1,38	2,27	1,19	1,26	1,07	2,70	1,79	1,29
Кальций, мг/л	26,0	25,0	28,0	30,1	31,7	26,7	25,7	27,0	28,0	27,9	28,4	32,8
Сульфат-ион, мг/л	8,3	8,1	7,8	7,4	6,6	7,0	6,0	8,2	7,5	4,9	13,0	8,6
Взвешенные вещества, мг/л	9,6	9,5	9,6	14,7	12,8	11,5	14,5	15,5	8,8	8,5	7,6	14,7
Прозрачность, см	14,9	16,8	16,7	17,9	17,4	14,1	15,2	15,1	18,8	16,4	14,3	14,7

Приложение 3.5

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за сентябрь 2010 года (**жирным шрифтом** выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Количественные показатели	Пункты отбора проб											
	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Температура, °С	13,2	14,3	13,4	13,9	13,6	12,8	13,7	13,4	13,5	14,2	13,5	13,4
Цветность, град.	41,5	35,5	39,4	40,8	37,2	39,0	41,1	41,5	40,4	35,1	48,5	38,3
рН, ед.	9,1	9,1	9,0	8,9	8,7	9,0	9,2	9,0	9,0	9,0	8,4	8,5
Кислород раств., мг/л	11,1	11,2	11,2	10,6	10,2	11,0	12,4	10,5	10,6	11,3	9,2	10,2
ХПК, мг/л	58	58	57	53	50	59	59	58	47	58	45	49
БПК, мг/л	4,25	4,15	4,26	4,20	4,06	4,20	4,41	4,17	3,87	4,52	3,79	3,98
Фосфор общ., мг/л	0,035	0,040	0,047	0,049	0,025	0,036	0,042	0,046	0,046	0,043	0,040	0,027
Фосфат-ион, мг/л	<0,05	0,0710	0,0627	0,0537	<0,05	<0,05	0,0599	0,0647	0,0613	0,0661	0,0606	<0,05
Нитрат-ион, мг/л	0,147	0,135	0,147	0,141	0,147	0,147	0,160	0,135	0,147	0,154	0,147	0,173
Аммоний-ион, мг/л	0,235	0,340	0,257	0,273	0,277	0,229	0,249	0,243	0,277	0,350	0,330	0,300
Железо общ., мг/л	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Марганец, мг/л	0,0258	0,0103	0,0216	0,0360	0,0160	0,0360	0,0191	0,0263	0,0227	0,0124	0,0180	0,0160
Медь, мг/л *10 ⁻³	1,53	1,43	1,36	1,69	1,40	2,70	1,87	0,92	1,88	1,02	0,98	1,71
Кальций, мг/л	32,0	32,0	31,9	32,4	36,6	32,8	31,6	31,9	31,9	31,6	36,3	36,6
Сульфат-ион, мг/л	8,1	9,7	8,7	7,1	9,8	8,8	8,3	7,5	7,7	8,6	8,0	9,7
Взвешенные вещества, мг/л	22,7	23,0	22,5	18,5	16,3	21,3	23,0	23,2	19,5	28,7	16,3	14,0
Прозрачность, см	12,3	12,9	13,1	14,1	17,9	11,9	11,7	12,0	13,1	12,3	18,4	19,4

Приложение 4.1

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского водохранилища за май 2010 года (численность в тыс. кл./мл, биомасса в мг/л)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона	11,594	11,554	11,949	7,920	6,998	12,489	11,734	11,362	13,089	11,844	10,209	10,227
Общая биомасса фитопланктона	6,150	6,090	6,146	6,471	6,473	6,499	6,070	5,685	6,955	6,300	5,557	6,265
Численность цианопрокариот	8,600	8,548	8,791	4,262	2,584	8,981	8,654	8,451	8,829	8,620	7,400	7,220
Биомасса цианопрокариот	0,210	0,200	0,219	0,140	0,077	0,287	0,208	0,208	0,300	0,350	0,154	0,140
Численность диатомей	2,412	2,430	2,542	3,218	4,056	2,942	2,430	2,399	3,430	2,412	2,100	2,400
Биомасса диатомей	5,410	5,612	5,376	6,114	6,040	5,680	5,371	5,370	6,180	5,240	4,750	5,360
Численность зеленых водорослей	0,521	0,510	0,548	0,410	0,300	0,500	0,584	0,501	0,742	0,710	0,634	0,560
Биомасса зеленых водорослей	0,100	0,108	0,107	0,087	0,065	0,091	0,122	0,094	0,300	0,432	0,180	0,164
Численность эвгленовых	0,015	0,016	0,019	0,015	0	0,012	0,011	0	0,020	0,022	0,022	0,020
Биомасса эвгленовых	0,105	0,102	0,108	0,112	0	0,100	0,111	0	0,119	0,208	0,204	0,240
Численность пиррофитовых	0,005	0,004	0,007	0	0,003	0,006	0,003	0	0	0	0,003	0,002
Биомасса пиррофитовых	0,287	0,270	0,290	0	0,200	0,300	0,201	0	0	0	0,220	0,140

Приложение 4.2

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского водохранилища за июнь 2010 года (численность в тыс. кл./мл, биомасса в мг/л)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона	265,09	252,6 9	255,1 3	239,4 0	215,2 8	272,9 6	260,1 5	306,0 0	261,7 9	290,5 9	276,3 9	195,9 2
Общая биомасса фитопланктона	24,788	21,62 3	22,21 8	24,79 2	21,54 0	22,81 1	21,88 7	26,02 7	19,06 3	23,74 3	18,96 3	19,57 4
Численность цианопрокариот	250,20	238,2 5	240,5 0	222,0 2	202,6 9	260,1 2	248,2 2	289,3 2	250,1 6	278,2 0	266,6 2	184,1 6
Биомасса цианопрокариот	7,980	8,416	8,850	8,951	8,600	9,760	9,600	11,715	11,06 1	10,10 9	9,560	7,076
Численность диатомей	11,11	10,10	11,24	13,46	10,05	7,31	8,62	9,39	5,20	9,39	6,23	8,13
Биомасса диатомей	12,340	11,45 7	12,30 0	14,67 6	11,10 0	9,210	10,345	10,12 0	6,140	10,720	7,057	9,350
Численность зеленых водорослей	3,58	4,28	3,26	3,89	2,45	5,36	3,17	6,86	6,36	2,86	3,45	3,39
Биомасса зеленых водорослей	0,623	0,840	0,625	0,582	0,891	0,925	0,600	1,346	1,523	0,545	0,911	0,874
Численность эвгленовых	0,08	0,04	0,12	0,01	0	0,09	0,06	0,33	0,05	0,06	0,05	0,05
Биомасса эвгленовых	0,270	0,150	0,420	0,050	0	0,300	0,290	1,040	0,016	0,210	0,189	0,575
Численность пиррофитовых	0,08	0,02	0	0,02	0,04	0,06	0,03	0,06	0,01	0,05	0,03	0,04
Биомасса пиррофитовых	3,450	0,760	0	0,533	0,640	2,550	0,826	1,712	0,262	2,060	1,210	1,540

Приложение 4.3

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского пруда за июль 2010 года (численность в тыс. кл./мл, биомасса в мг/л)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона	469,44	404,0 7	404,7 1	365,0 5	392,2 3	468,2 2	411,3 9	419,0 0	406,0 4	407,2 5	400,5 7	359,3 5
Общая биомасса фитопланктона	20,188	15,89 9	17,47 2	13,50 5	13,36 3	19,18 9	16,11 4	17,10 1	14,27 4	14,11 4	14,20 5	12,20 2
Численность цианопрокариот	467,15	402,2 5	402,0 2	360,5 5	390,2 0	466,1 5	409,0 0	416,1 0	404,2 2	405,6 5	398,7 1	357,7 4
Биомасса цианопрокариот	13,503	11,90 0	11,86 6	10,98 0	11,39 2	13,57 5	11,94 0	12,30 9	11,79 4	11,84 5	11,81 1	10,58 0
Численность диатомей	0,92	0,65	2,27	2,48	1,12	0,81	0,21	1,55	0,40	0,63	0,80	0,62
Биомасса диатомей	2,440	1,105	3,737	1,781	1,400	2,148	0,322	2,640	0,464	0,802	1,072	0,825
Численность зеленых водорослей	1,21	1,11	0,32	2,00	0,88	1,12	2,06	1,28	1,26	0,91	1,01	0,95
Биомасса зеленых водорослей	1,180	1,105	0,466	0,362	0,346	1,090	3,200	1,244	0,459	0,359	0,405	0,380
Численность эвгленовых	0,05	0	0,06	0	0,01	0,06	0,08	0,05	0,07	0,01	0,03	0,01
Биомасса эвгленовых	0,205	0	0,250	0	0,043	0,250	0,335	0,208	0,253	0,363	0,765	0,024
Численность пиррофитовых	0,08	0,05	0,03	0,01	0	0,06	0	0,02	0,07	0,04	0	0,02
Биомасса пиррофитовых	2,650	1,740	1,050	0,301	0	1,985	0	0,700	1,126	0,650	0	0,312

Приложение 4.4

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского пруда за август 2010 года (численность в тыс. кл./мл, биомасса в мг/л)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона	247,13	241,0 9	256,1 2	217,2 7	212,5 1	257,1 5	226,8 6	253,1 5	233,3 7	249,2 4	225,6 8	203,2 2
Общая биомасса фитопланктона	9,697	9,166	8,585	7,402	7,433	9,612	8,325	10,144	8,593	9,239	9,773	6,988
Численность цианопрокариот	244,55	239,1 0	255,1 1	215,4 5	211,0 2	255,4 8	225,0 8	250,8 0	232,0 1	248,0 5	223,0 6	202,0 5
Биомасса цианопрокариот	7,300	7,147	7,720	6,071	6,098	7,616	6,345	7,494	6,702	7,170	6,448	5,841
Численность диатомей	0,60	0,45	0,33	0,33	0,68	0,56	0,25	0,37	0,65	0,42	0,51	0,40
Биомасса диатомей	0,240	0,169	0,132	0,144	0,281	0,210	0,110	0,141	0,276	0,171	0,210	0,166
Численность зеленых водорослей	1,74	1,32	0,58	1,38	0,46	0,81	1,23	1,56	0,31	0,35	1,59	0,62
Биомасса зеленых водорослей	0,823	0,729	0,322	0,761	0,255	0,440	0,676	0,864	0,171	0,197	0,895	0,350
Численность эвгленовых	0,21	0,22	0,10	0,10	0,22	0,30	0,30	0,39	0,40	0,40	0,51	0,15
Биомасса эвгленовых	1,292	1,121	0,411	0,411	0,701	1,346	1,194	1,595	1,444	1,682	2,140	0,631

Приложение 4.5

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского пруда за сентябрь 2010 года (численность в тыс. кл./мл, биомасса в мг/л)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона	1229,8	1267,7	1272,5	1369,0	1277,6	1285,9	1369,0	1361,6	1347,4	1343,0	942,9	913,2
Общая биомасса фитопланктона	28,774	29,757	29,127	31,662	30,419	29,989	31,794	30,456	31,543	31,600	23,272	22,127
Численность цианопрокариот	1228,1	1266,0	1271,1	1367,2	1275,4	1284,2	1367,3	1361,0	1345,6	1341,0	940,6	911,2
Биомасса цианопрокариот	26,933	27,763	27,875	29,983	27,969	28,164	29,984	29,850	29,502	29,410	20,627	19,985
Численность диатомей	1,11	1,21	0,72	0,97	1,46	1,10	1,07	0,35	1,22	1,31	1,58	1,28
Биомасса диатомей	1,749	1,908	1,145	1,542	2,321	1,739	1,700	0,557	1,940	2,083	2,510	2,035
Численность зеленых водорослей	0,56	0,52	0,65	0,80	0,78	0,52	0,67	0,29	0,61	0,65	0,80	0,65
Биомасса зеленых водорослей	0,092	0,086	0,107	0,137	0,129	0,086	0,110	0,049	0,101	0,107	0,135	0,107

Приложение 5.1

Сводная таблица основных количественных показателей зоопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского водохранилища за май 2010 года (численность в экз./м³, биомасса в г/м³)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность зоопланктона	1338	2737	4922	4950	2905	3843	13796	5413	12127	12563	6070	6242
Общая биомасса метазойного планктона	0,0263	0,0329	0,1396	0,1058	0,0602	0,0482	0,2068	0,1206	0,3258	0,3218	0,0789	0,2779
Численность копепод	875	1095	4142	2621	1862	117	5144	3732	10884	10712	2801	6165
Биомасса копепод	0,0249	0,0328	0,1243	0,0743	0,0559	0,0035	0,1412	0,1066	0,3254	0,3198	0,0658	0,2774
Численность коловраток	347	342	552	291	149	3375	6547	1107	490	250	1401	0
Биомасса коловраток	0,0011	0,0001	0,0147	0,0291	0,0038	0,0447	0,0627	0,0095	0,0001	0,0001	0,0122	0
Численность кладоцер	17	0	49	218	37	0	234	82	38	1201	117	51
Биомасса кладоцер	0,0002	0	0,0006	0,0024	0,0005	0	0,0029	0,0045	0,0003	0,0019	0,0009	0,0005
Численность протозойного планктона	99	1300	179	1820	857	351	1871	492	715	400	1751	26

Приложение 5.2

Сводная таблица основных количественных показателей зоопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского водохранилища за июнь 2010 года (численность в тыс. экз./м³, биомасса в г/м³)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность зоопланктона	156,99	58,13	137,34	311,83	320,19	309,86	420,00	3555,79	107,68	100,63	210,76	317,99
Общая биомасса метазойного планктона	0,28	0,19	0,68	1,42	2,02	1,35	1,26	23,52	0,56	0,28	0,83	1,88
Численность копепод	19,43	7,73	5,23	50,01	57,80	41,01	11,76	592,63	10,68	12,51	28,24	5,97
Биомасса копепод	0,02	0,02	0,09	0,56	0,85	0,55	0,10	9,88	0,32	0,07	0,26	0,11
Численность коловраток	96,65	29,73	67,49	179,23	217,14	197,08	203,28	1165,51	80,46	63,39	154,07	242,02
Биомасса коловраток	0,11	0,10	0,27	0,45	0,75	0,49	0,51	3,34	0,15	0,10	0,46	1,42
Численность кладоцер	16,87	4,13	37,41	17,98	35,37	22,78	16,80	1609,98	2,93	4,83	11,80	26,59
Биомасса кладоцер	0,15	0,07	0,32	0,41	0,42	0,31	0,65	10,3	0,09	0,11	0,11	0,23
Численность протозойного планктона	24,03	16,53	27,21	64,61	9,89	48,98	188,16	187,67	13,61	19,90	16,65	43,41

Приложение 5.3

Сводная таблица основных количественных показателей зоопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского водохранилища за июль 2010 года (численность в тыс. экз./м³, биомасса в г/м³)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность зоопланктона	16,9	23,0	1414,0	540,1	1485,4	339,0	24,4	351,6	525,9	258,1	3349,0	4260,0
Общая биомасса метазойного планктона	0,12	0,24	5,81	5,06	10,35	4,13	0,21	2,44	2,91	2,00	19,33	16,67
Численность копепод	2,7	7,2	253,3	95,9	331,3	79,4	1,7	98,3	95,6	19,4	552,0	232,0
Биомасса копепод	0,05	0,08	1,17	3,29	1,83	1,26	0,02	1,44	0,74	0,38	7,34	1,62
Численность коловраток	10,5	7,5	903,0	171,0	720,6	96,4	9,0	187,4	329,0	85,4	2242,0	2631,0
Биомасса коловраток	0,01	0,02	1,33	0,27	1,64	0,15	0,01	0,43	1,34	0,33	3,86	5,20
Численность кладоцер	3,3	7,2	207,0	205,0	254,0	136,0	12,7	49,2	71,7	94,5	398,0	552,0
Биомасса кладоцер	0,06	0,14	3,31	1,50	6,88	2,72	0,18	0,57	0,83	1,29	8,13	9,85
Численность протозойного планктона	0,4	1,1	50,7	68,2	179,5	27,2	1,0	16,7	29,6	58,8	157,0	845,0

Приложение 5.4

Сводная таблица основных количественных показателей зоопланктона в исследованных пунктах мониторинга
Ижевского водохранилища за август 2010 года (численность в тыс. экз./м³, биомасса в г/м³)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность зоопланктона	338,9	80,2	149,5	261,3	108,5	110,2	372,6	456,9	501,6	100,5	245,8	702,4
Общая биомасса метазойного планктона	1,40	1,52	1,29	1,39	1,19	0,76	1,30	2,37	2,19	0,75	1,42	4,36
Численность копепод	19,2	38,8	24,2	35,3	24,5	8,4	34,9	30,6	38,4	7,6	25,8	96,1
Биомасса копепод	0,42	1,14	0,51	1,00	0,66	0,15	0,65	0,43	0,53	0,17	0,74	2,39
Численность коловраток	264,0	28,0	104,0	219,0	56,3	62,3	321,0	374,0	433,0	76,5	209,0	565,0
Биомасса коловраток	0,32	0,18	0,23	0,26	0,15	0,16	0,52	1,06	0,79	0,38	0,46	1,34
Численность кладоцер	48,1	12,9	19,9	4,0	25,7	36,9	15,1	36,5	26,1	16,0	9,2	33,4
Биомасса кладоцер	0,66	0,20	0,55	0,13	0,38	0,45	0,13	0,88	0,87	0,20	0,22	0,63
Численность протозойного планктона	7,6	0,5	1,4	3,0	2,0	2,6	1,6	15,8	4,1	0,4	1,8	7,9

Приложение 5.5

Сводная таблица основных количественных показателей зоопланктона в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за сентябрь 2010 года (численность в тыс. экз./м³, биомасса в г/м³)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность зоопланктона	3,8	2,0	1010,0	19,7	77,4	3,2	1,8	2,0	48,9	178,2	206,0	34,9
Общая биомасса метазойного планктона	0,017	0,014	9,471	0,142	0,647	0,022	0,008	0,022	0,385	1,186	0,777	0,245
Численность копепод	1,6	0,7	204,0	3,2	6,4	1,0	0,6	0,5	9,6	39,0	39,0	8,5
Биомасса копепод	0,004	0,005	2,969	0,042	0,076	0,007	0,004	0,004	0,117	0,632	0,404	0,088
Численность коловраток	1,2	0,7	176,0	2,7	41,0	1,5	0,7	0,5	5,8	111,0	90,0	18,0
Биомасса коловраток	0,004	0,004	0,300	0,008	0,279	0,008	0,002	0,002	0,009	0,256	0,184	0,093
Численность кладоцер	0,8	0,5	630,0	13,0	19,0	0,4	0,4	1,0	29,0	23,0	11,0	4,9
Биомасса кладоцер	0,009	0,005	6,202	0,092	0,292	0,007	0,002	0,016	0,259	0,298	0,189	0,064
Численность протозойного планктона	0,2	0,1	0	0,8	11,0	0,3	0,1	0	4,5	5,2	66,0	3,5

Приложение 6.1

Сезонная динамика средних значений основных гидрохимических показателей Ижевского водохранилища в 2010 году (I — приустьевые участки верхних притоков Иж, Люк и Пазелинка, II — верхний плес пруда (пункты 4р, 5р, 6п, 7п), III — прибрежные участки среднего и нижнего плесов пруда (пункты 1п, 2п, 3п, 4п, 5п), IV — русловые участки среднего и нижнего плесов пруда (пункты 1р, 2р, 3р), V — приустьевой участок реки Подборенка)

Количественные показатели		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
рН, ед.	I	7,67	7,87	7,67	8,00	7,63
	II	7,75	8,50	8,25	9,08	8,63
	III	8,30	8,64	8,92	9,22	9,04
	IV	8,00	8,87	8,90	9,26	9,07
	III+IV	8,18	8,73	8,91	9,24	9,05
	II+III+IV	8,04	8,65	8,69	9,08	8,91
	V	8,10	8,10	8,00	8,00	7,90
Кислород раств., мг/л	I	7,50	5,40	5,02	4,76	6,71
	II	10,21	7,69	6,17	9,08	10,04
	III	11,03	7,47	9,15	11,08	11,16
	IV	10,00	8,02	9,14	11,23	11,17
	III+IV	10,64	7,68	9,14	11,13	11,16
	II+III+IV	10,50	7,68	8,15	10,45	10,79
	V	10,30	8,30	9,37	9,02	9,49
ХПК, мг/л	I	28,6	34,3	28,0	33,2	25,0
	II	30,5	36,9	35,5	45,4	49,3
	III	30,3	32,4	42,9	37,9	56,2
	IV	27,7	30,4	42,5	39,5	57,7
	III+IV	29,4	31,6	42,8	38,5	56,8
	II+III+IV	29,7	33,4	40,3	40,8	54,3
	V	30,8	32,9	31,6	26,2	26,0
БПК, мг/л	I	1,34	2,20	2,32	2,40	1,36
	II	2,33	4,20	5,35	4,95	4,01
	III	3,46	4,24	7,06	4,84	4,23
	IV	2,50	3,48	6,34	4,02	4,22
	III+IV	3,10	3,95	6,79	4,53	4,23
	II+III+IV	2,84	4,03	6,31	4,67	4,16
	V	1,87	2,18	5,34	4,86	0,71

Приложение 6.1 (продолжение)

Фосфор общий, мг/л	I	н.д.	0,0657	0,0617	0,1157	0,0374
	II	н.д.	0,0282	0,0945	0,0762	0,0353
	III	н.д.	0,0350	0,0489	0,0443	0,0426
	IV	н.д.	0,0224	0,0478	0,0311	0,0407
	III+IV	н.д.	0,0275	0,0485	0,0393	0,0419
	II+III+IV	н.д.	0,0296	0,0638	0,0619	0,0397
	V	н.д.	0,0390	0,1570	0,9000	0,0351
Фосфат- ион, мг/л	I	0,091	0,167	0,178	0,176	0,102
	II	0,053	0,050	0,204	0,083	0,054
	III	0,061	0,050	0,065	0,052	0,060
	IV	0,073	0,050	0,071	0,050	0,061
	III+IV	0,065	0,050	0,068	0,051	0,061
	II+III+IV	0,061	0,050	0,116	0,062	0,058
	V	0,220	0,110	0,503	0,451	0,114
Нитрат- ион, мг/л	I	1,81	0,44	0,38	0,44	0,19
	II	1,33	0,31	0,21	0,28	0,15
	III	1,61	0,20	0,18	0,31	0,15
	IV	2,05	0,18	0,25	0,32	0,14
	III+IV	1,78	0,19	0,21	0,31	0,15
	II+III+IV	1,63	0,23	0,21	0,30	0,15
	V	26,10	28,90	36,60	34,30	38,60
Аммоний- ион, мг/л	I	0,35	0,28	0,44	0,33	0,34
	II	0,48	0,24	0,55	0,29	0,29
	III	0,37	0,17	0,43	0,31	0,27
	IV	0,37	0,23	0,41	0,29	0,28
	III+IV	0,37	0,20	0,42	0,30	0,27
	II+III+IV	0,41	0,21	0,47	0,30	0,28
	V	0,22	0,29	1,55	1,13	0,14
Железо общее, мг/л	I	0,343	0,228	0,182	0,100	0,128
	II	0,370	0,107	0,196	0,100	0,100
	III	0,327	0,101	0,100	0,100	0,100
	IV	0,345	0,100	0,100	0,100	0,100
	III+IV	0,334	0,100	0,100	0,100	0,100
	II+III+IV	0,346	0,103	0,132	0,100	0,100
	V	0,129	0,130	0,100	0,100	0,100

Приложение 6.1 (окончание)

Марганец, мг/л	I	0,074	0,075	0,079	0,013	0,026
	II	0,036	0,033	0,077	0,012	0,022
	III	0,070	0,042	0,016	0,014	0,023
	IV	0,108	0,029	0,010	0,033	0,019
	III+IV	0,084	0,039	0,014	0,021	0,022
	II+III+IV	0,068	0,035	0,035	0,018	0,022
	V	0,201	0,098	0,072	0,142	0,237
Сульфат-ион, мг/л	I	19,20	12,30	10,15	13,42	13,50
	II	15,03	11,45	8,78	8,90	8,65
	III	9,70	15,10	9,72	6,72	8,18
	IV	8,80	11,63	9,63	8,07	8,83
	III+IV	9,36	13,80	9,69	7,23	8,43
	II+III+IV	11,25	13,00	9,38	7,78	8,50
	V	68,30	61,10	76,90	63,30	76,10
Прозрачность, см	I	23,7	28,5	30,0	27,6	30,0
	II	23,1	18,8	22,5	16,1	17,5
	III	18,4	19,1	17,9	15,9	12,2
	IV	19,7	19,8	20,1	16,1	12,8
	III+IV	18,9	19,3	18,8	16,0	12,4
	II+III+IV	20,3	19,1	20,0	16,0	14,1
	V	28,2	30,0	30,0	30,0	30,0
Взвешенные вещества, мг/л	I	14,9	5,3	4,5	4,2	3,7
	II	10,4	12,0	11,2	12,5	16,3
	III	10,8	9,1	9,8	11,8	23,1
	IV	8,7	6,6	9,1	9,6	22,7
	III+IV	10,0	8,2	9,5	10,9	22,9
	II+III+IV	10,1	9,4	10,1	11,4	20,8
	V	11,5	3,7	6,8	11,7	5,5

Приложение 6.2

Сезонная динамика средних значений основных количественных показателей фитопланктона на разных участках Ижевского водохранилища в 2010 году (численность в тыс. кл./мл, биомасса в мг/л; обозначения II–IV — как в *приложении 6.1*)

Количественные показатели		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Общая численность фитопланктона	II	8,839	231,74	379,30	214,67	1125,68
	III	12,104	278,30	422,38	243,95	1341,38
	IV	11,699	257,64	426,07	248,11	1256,67
	III+IV	11,952	270,55	423,77	245,51	1309,61
	II+III+IV	10,914	257,62	408,94	235,23	1248,30
Общая биомасса фитопланктона	II	6,192	21,217	13,319	7,902	26,870
	III	6,302	22,706	16,158	9,183	31,058
	IV	6,129	22,876	17,853	9,149	29,219
	III+IV	6,237	22,770	16,793	9,170	30,369
	II+III+IV	6,221	22,252	15,635	8,746	29,210
Численность синезеленых водорослей	II	5,367	218,87	376,80	212,90	1123,60
	III	8,707	265,20	420,22	242,28	1339,82
	IV	8,646	242,98	423,81	246,25	1255,07
	III+IV	8,684	256,87	421,57	243,80	1308,04
	II+III+IV	7,578	244,21	406,65	233,48	1246,56
Биомасса синезеленых водорослей	II	0,128	8,547	11,191	6,120	24,641
	III	0,271	10,449	12,293	7,065	29,382
	IV	0,210	8,415	12,423	7,389	27,544
	III+IV	0,248	9,686	12,342	7,190	28,685
	II+III+IV	0,208	9,307	11,958	6,829	27,337
Численность диатомовых водорослей	II	2,94	9,47	1,26	0,48	1,32
	III	2,72	7,98	0,72	0,46	1,01
	IV	2,46	10,82	1,28	0,45	1,01
	III+IV	2,62	9,05	0,93	0,45	1,01
	II+III+IV	2,73	9,19	1,04	0,46	1,12
Биомасса диатомовых водорослей	II	5,566	10,546	1,270	0,200	2,102
	III	5,568	9,307	1,275	0,182	1,604
	IV	5,379	12,032	2,427	0,180	1,601
	III+IV	5,497	10,329	1,707	0,181	1,603
	II+III+IV	5,542	10,401	1,561	0,188	1,769

Приложение 6.2 (окончание)

Численность зеленых водорослей	II	0,476	3,30	1,21	1,01	0,76
	III	0,607	4,92	1,33	0,87	0,55
	IV	0,526	3,71	0,88	1,21	0,58
	III+IV	0,577	4,47	1,16	0,99	0,56
	II+III+IV	0,543	4,08	1,18	1,00	0,63
Биомасса зеленых водорослей	II	0,124	0,815	0,373	0,565	0,127
	III	0,208	0,988	1,270	0,470	0,906
	IV	0,105	0,696	0,917	0,625	0,950
	III+IV	0,169	0,878	1,139	0,528	0,923
	II+III+IV	0,154	0,857	0,883	0,540	0,104
Численность эвгленовых водорослей	II	0,014	0,028	0,013	0,245	0
	III	0,013	0,118	0,054	0,358	0
	IV	0,017	0,080	0,037	0,176	0
	III+IV	0,014	0,104	0,048	0,290	0
	II+III+IV	0,014	0,078	0,036	0,275	0
Биомасса эвгленовых водорослей	II	0,139	0,203	0,208	0,971	0
	III	0,108	0,371	0,281	1,452	0
	IV	0,105	0,280	0,152	0,841	0
	III+IV	0,107	0,337	0,233	1,260	0
	II+III+IV	0,117	0,293	0,225	1,164	0
Численность пиррофитовых водорослей	II	0,002	0,033	0,008	0	0
	III	0,002	0,042	0,038	0	0
	IV	0,005	0,033	0,053	0	0
	III+IV	0,003	0,039	0,044	0	0
	II+III+IV	0,003	0,040	0,032	0	0
Биомасса пиррофитовых водорослей	II	0,140	0,981	0,153	0	0
	III	0,100	1,482	0,892	0	0
	IV	0,282	1,403	1,813	0	0
	III+IV	0,168	1,453	1,238	0	0
	II+III+IV	0,159	1,295	0,876	0	0

Приложение 6.3

Сезонная динамика средних значений основных количественных показателей зоопланктона на разных участках Ижевского водохранилища в 2010 году (численность в тыс. экз./м³, биомасса в г/м³; обозначения П–IV — как в *приложении 6.1*)

Количественные показатели		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Общая численность зоопланктона (без флагеллят)	П	5,04	290,19	2408,63	329,50	84,50
	III	9,55	898,79	299,80	308,36	46,82
	IV	3,00	117,49	484,63	189,53	338,60
	III+IV	7,09	605,80	369,11	263,80	156,24
	П+III+IV	6,41	500,60	1048,95	285,70	132,33
Общая биомасса метазойного планктона	П	0,13	1,54	12,85	2,09	0,45
	III	0,20	5,39	2,34	1,47	0,32
	IV	0,07	0,38	2,06	1,40	3,17
	III+IV	0,15	3,52	2,23	1,45	1,39
	П+III+IV	0,15	2,86	5,77	1,66	1,08
Численность копепод	П	3,36	35,51	302,80	45,43	14,28
	III	6,12	133,72	58,88	23,98	10,14
	IV	2,04	32,39	87,73	27,40	68,77
	III+IV	4,59	86,97	69,70	25,26	32,13
	П+III+IV	4,18	70,25	147,40	31,98	26,17
Биомасса копепод	П	0,12	0,45	3,52	1,20	0,15
	III	0,18	2,18	0,77	0,39	0,15
	IV	0,06	0,04	0,43	0,69	0,99
	III+IV	0,13	1,38	0,64	0,50	0,47
	П+III+IV	0,13	1,07	1,92	0,73	0,36
Численность коловраток	П	0,46	198,12	1441,15	262,33	37,93
	III	2,35	341,94	141,44	253,36	23,90
	IV	0,41	64,62	307,00	132,00	59,30
	III+IV	1,63	237,95	203,53	207,85	37,18
	П+III+IV	1,24	224,67	616,07	226,01	37,43
Биомасса коловраток	П	0,011	0,77	2,74	0,55	0,14
	III	0,023	0,92	0,45	0,58	0,06
	IV	0,005	0,16	0,45	0,24	0,10
	III+IV	0,017	0,63	0,45	0,46	0,07
	П+III+IV	0,015	0,68	1,22	0,49	0,10

Приложение 6.3 (окончание)

Численность клагоцер	II	0,11	22,94	352,25	18,08	11,98
	III	0,31	331,46	72,82	26,12	10,76
	IV	0,02	19,47	72,50	26,97	210,43
	III+IV	0,20	214,47	72,70	26,44	85,64
	II+III+IV	0,17	150,62	165,88	23,65	61,08
Биомасса клагоцер	II	0,001	0,29	6,59	0,34	0,16
	III	0,002	2,29	1,12	0,51	0,12
	IV	0,000	0,18	1,17	0,47	2,07
	III+IV	0,001	1,50	1,14	0,49	0,85
	II+III+IV	0,001	1,10	2,96	0,44	0,62
Численность протозойного планктона (без флагеллят)	II	1,11	33,64	312,43	3,68	20,33
	III	0,77	91,66	26,66	4,90	2,02
	IV	0,53	22,59	17,40	3,17	0,10
	III+IV	0,68	65,76	23,19	4,25	1,30
	II+III+IV	0,98	55,05	119,60	4,06	7,64

Приложение 7.1

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за февраль 2011 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Цветность, град.	8,9	10,0	9,2	13,9	13,2	15,7	47,7	27,7	47,0	9,6	34,5	82,2
pH, ед.	7,7	7,7	7,7	7,5	7,6	8,0	7,3	7,6	7,4	8,1	7,4	6,9
Кислород раств., мг/л	7,74	8,60	9,79	7,18	7,50	11,90	1,49	9,04	5,06	13,30	7,88	<1,00
ХПК, мг/л	13,6	15,1	18,7	22,7	23,2	49,0	24,7	22,7	47,0	18,5	24,5	77,0
БПК, мг/л	0,63	0,89	1,38	1,24	1,26	1,55	5,47	1,03	1,42	0,89	1,33	11,7
Фосфат-ион, мг/л	0,0509	0,0571	0,0599	0,0790	0,0670	0,7170	0,1820	0,0870	0,2420	0,0503	0,0900	0,3250
Фосфор общий, мг/л	0,0201	0,0234	0,0262	0,0278	0,0249	0,2310	0,0760	0,0400	0,0840	<0,0200	0,0374	0,1300
Аммоний-ион, мг/л	0,20	0,32	0,31	0,38	0,27	2,00	0,60	0,32	0,65	<0,05	0,45	1,64
Нитрат-ион, мг/л	1,98	1,95	1,96	2,06	1,93	38,60	2,97	2,95	1,56	18,00	4,56	0,37
Железо общее, мг/л	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,133	0,530	<0,1	0,570	<0,1	0,242	0,490
Марганец, мг/л	0,0108	<0,01	0,0119	0,0750	0,0620	0,0121	0,0950	0,0152	0,0157	<0,01	0,0175	0,0560
Медь, мг/л *10 ⁻³	1,98	3,10	3,00	1,66	2,14	2,90	1,71	1,19	2,50	1,53	1,46	3,40
Кальций, мг/л	42,8	43,2	43,6	49,6	46,9	137,2	45,2	52,3	51,0	86,8	74,6	56,0
Сульфат-ион, мг/л	20,7	20,4	22,2	25,4	19,9	81,3	17,3	30,6	42,4	46,5	48,9	6,5
Хлорид-ион, мг/л	15,1	15,3	15,5	17,3	17,1	466,0	31,9	19,4	17,3	28,7	47,9	14,1
Взвешенные вещества, мг/л	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	7,3	<3,0	20,0	361,0	<3,0	44,3
Прозрачность, см	>30,0	>30,0	>30,0	>30,0	>30,0	>30,0	18,3	>30,0	27,8	5,3	>30,0	3,4
Фосфор общ., мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,457	0,670	0,750	1,000	н.д.	3,080	0,499
Нитрат-ион, мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	4,26	5,74	9,96	8,17	н.д.	5,50	5,88

Приложение 7.2

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за май 2011 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Цветность, град.	82,5	82,9	н.д.	83,2	101,4	81,8	94,6	91,1	96,4	79,0	68,6	100,3
pH, ед.	8,4	8,1	н.д.	8,0	7,8	8,4	8,0	8,1	8,0	8,1	8,1	7,5
Кислород раств., мг/л	10,00	9,24	н.д.	9,08	8,13	9,79	8,21	9,47	8,76	9,55	9,47	6,47
ХПК, мг/л	38,5	38,5	н.д.	40,1	50,0	47,0	42,0	43,0	44,0	46,0	45,0	53,0
БПК, мг/л	1,55	1,67	н.д.	1,35	1,60	1,74	1,54	1,64	1,62	1,70	1,51	1,68
Фосфат-ион, мг/л	<0,05	<0,05	н.д.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Фосфор общий, мг/л	0,0219	0,0228	н.д.	0,0250	0,0214	0,0234	0,0316	0,0219	0,0206	0,0225	0,0238	0,0219
Аммоний-ион, мг/л	0,36	0,35	н.д.	0,37	0,44	0,32	0,28	0,41	0,49	0,37	0,31	0,69
Нитрат-ион, мг/л	1,85	2,13	н.д.	1,97	1,08	2,27	1,61	1,63	1,30	2,24	0,39	0,63
Железо общее, мг/л	0,118	<0,1	н.д.	0,150	0,120	0,178	0,136	0,139	0,169	0,142	0,110	0,159
Марганец, мг/л	0,0103	<0,01	н.д.	0,0108	<0,01	0,0201	0,0113	<0,01	<0,01	<0,01	0,0103	<0,01
Медь, мг/л *10 ⁻³	2,39	5,50	н.д.	3,10	1,79	1,57	2,90	5,40	2,25	1,49	2,80	2,70
Кальций, мг/л	25,6	26,4	н.д.	51,7	25,4	27,2	26,1	26,4	25,4	26,2	48,5	26,9
Сульфат-ион, мг/л	19,5	18,7	н.д.	21,2	20,9	21,2	35,3	17,7	19,5	19,7	42,9	18,4
Хлорид-ион, мг/л	<10,0	<10,0	н.д.	<10,0	<10,0	<10,0	14,3	<10,0	<10,0	<10,0	23,9	<10,0
Взвешенные вещества, мг/л	6,3	3,7	н.д.	6,1	8,4	6,5	12,8	8,8	7,7	5,0	5,7	3,5
Прозрачность, см	25,5	>30,0	н.д.	24,1	24,6	27,2	14,2	22,7	23,4	23,9	24,4	>30,0
Фосфор общ., мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,75	0,96	0,79	22,50	0,58	1,29	2,49
Нитрат-ион, мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	<2,5	20,0	25,7	181,0	5,7	23,5	10,4

Приложение 7.3

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за июль 2011 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Цветность, град.	62,6	62,2	63,7	66,5	77,9	67,9	72,2	65,8	65,1	65,8	62,6	77,5
pH, ед.	9,1	9,2	8,9	8,8	8,1	9,4	9,1	9,1	8,7	9,0	8,4	8,0
Кислород раств., мг/л	10,60	12,40	9,67	9,67	6,75	14,60	10,50	11,50	9,35	7,15	6,59	6,75
ХПК, мг/л	58	59	56	45	44	51	35	41	49	31	35	37
БПК, мг/л	5,35	4,84	3,46	3,71	3,05	8,20	6,65	5,03	3,76	5,33	3,81	3,21
Фосфат-ион, мг/л	<0,05	<0,05	<0,05	0,074	0,152	<0,05	<0,05	<0,05	0,081	<0,05	0,098	0,163
Фосфор общий, мг/л	0,0480	0,0385	0,0420	0,0440	0,0880	0,0410	0,0396	0,0389	0,0540	0,0361	0,0500	0,0830
Аммоний-ион, мг/л	0,37	0,52	0,49	0,64	0,75	0,36	0,39	0,35	0,38	0,47	0,52	0,62
Нитрат-ион, мг/л	0,397	0,359	0,378	0,365	0,436	0,276	0,301	0,295	0,288	0,276	0,320	0,365
Железо общее, мг/л	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,145	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,177
Марганец, мг/л	0,0160	0,0119	0,0289	0,0350	0,1260	0,0108	<0,01	0,0134	0,0319	0,0139	0,0201	0,1290
Медь, мг/л *10 ⁻³	2,20	2,03	2,39	2,21	2,29	1,41	1,83	1,45	1,15	1,21	1,54	0,65
Кальций, мг/л	36,0	36,3	36,7	37,5	40,7	36,0	35,6	36,0	36,3	36,3	36,7	39,9
Сульфат-ион, мг/л	11,0	10,8	9,6	8,8	6,9	11,7	11,6	11,2	10,5	11,7	10,6	9,0
Хлорид-ион, мг/л	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	10,1	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Взвешенные вещества, мг/л	16,2	28,5	20,0	21,2	14,0	26,5	24,8	34,0	23,3	23,0	19,5	15,5
Прозрачность, см	19,8	18,4	22,0	21,5	>30,0	13,8	15,5	13,6	19,6	19,2	23,2	>30,0
Фосфор общ., мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	1,04	0,96	0,79	4,78	0,79	1,54	3,33
Нитрат-ион, мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	7,45	27,90	20,00	199,00	25,30	23,30	4,67

Приложение 7.4

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за август 2011 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Цветность, град.	54,8	53,7	55,1	51,9	53,7	63,3	63,0	58,3	55,1	58,0	55,1	63,3
pH, ед.	8,5	8,5	8,6	8,5	8,2	8,4	8,6	8,7	8,7	8,9	8,5	7,8
Кислород раств., мг/л	6,29	6,62	7,79	7,04	7,79	5,37	8,54	9,59	8,86	8,86	7,15	13,50
ХПК, мг/л	53	51	53	47	39	55	62	71	69	59	68	52
БПК, мг/л	3,82	3,50	2,75	2,77	2,78	4,48	3,49	3,46	3,70	3,45	5,48	4,26
Фосфат-ион, мг/л	0,302	0,295	0,283	0,264	0,177	0,322	0,236	0,213	0,186	0,233	0,132	0,081
Фосфор общий, мг/л	0,117	0,118	0,120	0,097	0,077	0,121	0,104	0,091	0,084	0,106	0,058	0,044
Аммоний-ион, мг/л	0,47	0,46	0,54	0,53	0,55	0,38	0,40	0,41	0,37	0,40	0,44	0,43
Нитрат-ион, мг/л	0,256	0,250	0,237	0,250	0,282	0,244	0,282	0,244	0,269	0,276	0,276	0,288
Железо общее, мг/л	0,080	0,062	0,095	0,071	0,119	0,069	0,066	0,050	<0,05	0,066	0,079	0,085
Марганец, мг/л	0,0130	0,0199	0,0117	0,0152	0,0276	0,0283	0,0130	0,0124	0,0136	0,0115	0,0116	0,0177
Медь, мг/л *10 ⁻³	1,64	1,25	1,66	2,43	2,26	1,70	1,74	1,76	2,70	2,50	1,72	0,54
Кальций, мг/л	37,4	37,4	37,5	37,6	42,5	37,0	37,1	38,6	38,0	37,7	41,3	42,7
Сульфат-ион, мг/л	16,6	16,7	15,6	14,5	12,5	16,6	16,6	20,8	15,2	15,9	13,1	12,8
Хлорид-ион, мг/л	11,3	11,2	11,2	11,3	11,9	11,9	12,1	11,7	11,3	11,2	11,7	12,1
Взвешенные вещества, мг/л	11,2	14,7	13,8	18,0	12,6	7,2	7,2	7,3	7,3	6,5	7,7	5,7
Прозрачность, см	13,3	13,4	13,5	18,0	14,6	12,8	11,8	11,8	12,5	11,9	13,3	27,8
Фосфор общ., мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,75	0,67	1,41	37,70	2,00	2,49	2,24
Нитрат-ион, мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	4,4	3,4	14,7	107,0	1,8	3,8	22,2

Приложение 7.5

Сводная таблица основных физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за октябрь 2011 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	1р	2р	3р	4р	5р	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Цветность, град.	41,3	44,5	55,1	45,5	52,6	44,5	44,1	43,4	47,7	43,8	43,8	58,3
pH, ед.	8,3	8,5	8,4	8,1	8,0	8,5	8,5	8,4	8,1	8,5	8,1	7,9
Кислород раств., мг/л	9,66	9,66	9,90	9,18	9,18	10,20	11,20	10,10	9,42	10,10	9,58	7,33
ХПК, мг/л	45,0	37,9	43,0	33,6	28,2	46,0	43,0	42,0	39,9	45,0	28,2	29,9
БПК, мг/л	1,41	1,68	1,61	1,50	1,27	3,15	2,16	1,91	2,06	1,62	1,23	2,24
Фосфат-ион, мг/л	0,130	0,116	0,079	0,064	0,062	0,141	0,140	0,092	0,106	0,092	0,063	<0,05
Фосфор общий, мг/л	0,045	0,052	<0,04	<0,04	<0,04	0,066	0,045	0,043	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Аммоний-ион, мг/л	0,257	0,246	0,273	0,310	0,320	0,243	0,255	0,320	0,300	0,266	0,271	0,330
Нитрат-ион, мг/л	0,244	0,237	0,256	0,269	0,378	0,301	0,320	0,288	0,327	0,327	0,269	0,410
Железо общее, мг/л	0,064	0,067	0,050	0,098	0,103	<0,05	0,072	0,115	0,092	0,052	0,086	0,112
Марганец, мг/л	0,0141	0,0139	0,0129	0,0163	0,0257	0,0155	0,0130	0,0127	0,0169	0,0151	0,0148	0,0429
Медь, мг/л *10 ⁻³	1,70	2,90	1,73	2,08	2,21	2,70	1,68	2,17	1,53	1,87	1,65	1,50
Кальций, мг/л	39,5	39,7	40,3	44,2	44,2	42,1	39,3	40,5	40,5	40,1	44,0	48,0
Сульфат-ион, мг/л	10,3	9,2	9,3	10,3	8,3	10,2	11,3	10,3	9,5	10,9	9,9	8,3
Хлорид-ион, мг/л	13,1	12,9	12,8	13,3	12,4	14,7	13,5	13,3	13,1	13,1	14,2	11,9
Взвешенные вещества, мг/л	10,6	8,6	7,6	6,8	5,5	15,0	13,5	8,9	8,9	10,1	4,1	3,8
Прозрачность, см	19,1	17,7	20,5	>30,0	>30,0	16,8	15,8	19,4	23,7	19,2	>30,0	>30,0
Фосфор общ., мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,59	0,87	0,50	14,70	1,37	1,75	2,50
Нитрат-ион, мг/кг ДО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,35	5,9	14,1	32,3	5,0	10,8	4,7

Приложение 8.1

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона в исследованных пунктах мониторинга прибрежных участков Ижевского водохранилища за май 2011 года

Показатели	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	12,289	11,154	11,021	10,549	11,293	11,612	8,150
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	6,499	6,090	5,662	5,418	6,909	2,300	6,250
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	8,981	8,548	8,451	8,564	8,376	8,410	5,320
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	0,287	0,200	0,208	0,208	0,280	0,450	0,400
Численность диатомовых водорослей, тыс. кл./мл	2,742	2,030	2,069	1,245	2,095	2,390	2,400
Биомасса диатомовых водорослей, мг/л	5,860	5,612	5,360	4,719	6,160	1,140	5,360
Численность зеленых водорослей, тыс. кл./мл	0,500	0,510	0,501	0,584	0,742	0,710	0,400
Биомасса зеленых водорослей, мг/л	0,091	0,108	0,094	0,122	0,300	0,432	0,100
Численность эвгленовых водорослей, тыс. кл./мл	0,012	0,016	0	0,011	0,020	0,022	0,020
Биомасса эвгленовых водорослей, мг/л	0,100	0,102	0	0,111	0,119	0,208	0,240

Приложение 8.2

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона и водных макрофитов
в исследованных пунктах мониторинга прибрежных участков Ижевского водохранилища за июль 2011 года

Показатели	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	411,39	383,49	372,35	367,62	404,35	359,05	349,31
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	16,114	11,941	13,812	10,647	15,985	12,610	9,202
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	409,00	383,20	371,00	366,20	401,00	354,55	347,70
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	11,940	11,450	11,660	8,630	11,140	10,085	7,580
Численность диатомовых водорослей, тыс. кл./мл	0,21	0,11	0	0	1,21	2,48	0,62
Биомасса диатомовых водорослей, мг/л	0,322	0,151	0	0	1,310	1,781	0,825
Численность зеленых водорослей, тыс. кл./мл	2,06	0,12	1,28	1,26	2,06	2,00	0,95
Биомасса зеленых водорослей, мг/л	3,200	0,090	1,244	0,459	3,200	0,362	0,380
Численность эвгленовых водорослей, тыс. кл./мл	0,08	0,06	0,05	0,07	0,08	0	0,01
Биомасса эвгленовых водорослей, мг/л	0,335	0,250	0,208	0,254	0,335	0	0,024
Воздушно-сухая биомасса гидрофитов, г/м ²	123,2	0	624,4	333,6	0	861,2	441,2
Воздушно-сухая биомасса гелофитов, г/м ²	0	393,6	234,4	561,6	580,4	695,6	799,2

Приложение 8.3

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона и водных макрофитов
в исследованных пунктах мониторинга прибрежных участков Ижевского водохранилища за август 2011 года

Показатели	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	261,41	270,92	273,23	252,97	260,47	265,98	212,75
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	7,980	10,489	7,817	7,528	8,734	9,950	6,111
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	260,50	268,80	273,00	252,01	260,00	264,97	212,60
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	7,560	7,890	7,541	7,082	7,798	7,500	5,841
Численность диатомовых водорослей, тыс. кл./мл	0,50	0,17	0	0,65	0	0,51	0,10
Биомасса диатомовых водорослей, мг/л	0,200	0,140	0	0,275	0	0,210	0,040
Численность зеленых водорослей, тыс. кл./мл	0,41	1,56	0,23	0,31	0,25	0	0
Биомасса зеленых водорослей, мг/л	0,220	0,864	0,276	0,171	0,167	0	0
Численность эвгленовых водорослей, тыс. кл./мл	0	0,39	0	0	0,20	0,50	0,05
Биомасса эвгленовых водорослей, мг/л	0	1,595	0	0	0,750	2,240	0,230
Воздушно-сухая биомасса гидрофитов, г/м ²	40	0	362	204	0	908	486
Воздушно-сухая биомасса гелофитов, г/м ²	0	234	404	900	248	860	532

Приложение 8.4

Сводная таблица основных количественных показателей фитопланктона и водных макрофитов
в исследованных пунктах мониторинга прибрежных участков Ижевского водохранилища за октябрь 2011 года

Показатели	1п	2п	3п	4п	5п	6п	7п
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	1261,36	1361,49	1377,89	1366,73	1311,33	962,08	902,24
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	27,381	30,395	31,846	31,763	29,413	21,000	21,185
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	1261,00	1361,00	1377,55	1365,60	1311,00	960,58	901,04
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	27,164	29,850	30,966	30,522	29,310	18,600	19,185
Численность диатомовых водорослей, тыс. кл./мл	0,11	0,30	0,07	1,02	0,28	1,50	1,20
Биомасса диатомовых водорослей, мг/л	0,200	0,505	0,700	1,140	0,057	2,400	2,000
Численность зеленых водорослей, тыс. кл./мл	0,25	0,19	0,27	0,11	0,05	0	0
Биомасса зеленых водорослей, мг/л	0,017	0,040	0,150	0,101	0,046	0	0
Воздушно-сухая биомасса гидрофитов, г/м ²	0	0	0	44	0	0	60
Воздушно-сухая биомасса гелофитов, г/м ²	0	204	320	224	220	780	496

Приложение 9.1

Сезонная динамика средних значений основных гидрохимических показателей Ижевского водохранилища в 2011 году (I — русловые участки, II — прибрежные участки, III — верховья (пункты 4р, 5р, 4п, 6п, 7п.), IV — средняя и нижняя часть (пункты 1р, 2р, 3р, 1п, 2п, 3п, 5п), V — среднее по всему водоему; «ДО» — донные отложения)

Показатели		Февраль	Май	Июль	Август	Октябрь
рН, ед.	I	7,6	8,1	8,8	8,5	8,3
	II	7,5	8,0	8,8	8,5	8,3
	III	7,4	7,9	8,4	8,3	8,0
	IV	7,7	8,2	9,1	8,6	8,4
	V	7,5	8,0	8,8	8,5	8,3
Кислород растворенный, мг/л	I	8,2	9,1	9,8	7,1	9,5
	II	7,1	8,8	9,5	8,8	9,7
	III	5,7	8,4	7,8	8,9	8,9
	IV	8,8	9,4	10,9	7,6	10,1
	V	7,5	8,9	9,6	8,1	9,6
ХПК, мг/л	I	18,7	41,8	52,4	48,6	37,5
	II	37,6	45,7	39,9	62,3	39,1
	III	38,9	46,4	42,0	55,0	32,0
	IV	23,2	42,5	47,3	57,7	43,1
	V	29,7	44,1	45,1	56,6	38,5
БПК, мг/л	I	1,08	1,54	4,08	3,12	1,49
	II	3,34	1,63	5,14	4,05	2,05
	III	3,39	1,55	3,51	3,80	1,66
	IV	1,69	1,64	5,55	3,56	1,93
	V	2,40	1,59	4,70	3,66	1,82
Фосфор общий, мг/л	I	0,0245	0,0228	0,0521	0,1060	<0,0434
	II	0,0883	0,0237	0,0489	0,0868	<0,04
	III	0,0608	0,0225	0,0638	0,0720	<0,04
	IV	0,0623	0,0240	0,0406	0,1110	<0,04
	V	0,0617	0,0233	0,0502	0,0948	<0,0443
Фосфат-ион, мг/л	I	0,0628	<0,05	0,0752	0,2642	0,0902
	II	0,2419	<0,05	0,0774	0,2004	0,1129
	III	0,1606	<0,05	0,1136	0,1680	0,0690
	IV	0,1720	<0,05	<0,05	0,2691	0,1129
	V	0,1673	<0,05	0,0765	0,2270	0,0946
Нитрат-ион, мг/л	I	1,98	1,76	0,39	0,26	0,28
	II	9,86	1,43	0,30	0,27	0,32
	III	2,10	1,07	0,35	0,27	0,33
	IV	9,77	1,96	0,33	0,26	0,28
	V	6,58	1,57	0,34	0,27	0,30

Приложение 9.1 (окончание)

Аммоний-ион, мг/л	I	0,30	0,38	0,55	0,51	0,28
	II	0,82	0,41	0,44	0,40	0,28
	III	0,68	0,46	0,58	0,46	0,31
	IV	0,54	0,35	0,42	0,44	0,27
	V	0,60	0,40	0,49	0,45	0,28
Железо общее, мг/л	I	<0,1	0,122	0,109	0,085	0,076
	II	0,309	0,147	0,111	0,066	0,083
	III	0,300	0,142	0,124	0,081	0,098
	IV	0,166	0,136	<0,1	0,070	0,067
	V	0,222	0,138	0,110	0,075	0,080
Марганец, мг/л	I	0,0339	0,0103	0,0436	0,0175	0,0166
	II	0,3040	0,0117	0,0327	0,0154	0,0187
	III	0,2058	0,0102	0,0684	0,0171	0,0233
	IV	0,1808	0,0120	0,0150	0,0157	0,0139
	V	0,1912	0,1112	0,0372	0,0163	0,0178
Взвешенные вещества, мг/л	I	<3	6,1	20,0	14,1	7,8
	II	62,7	7,1	23,8	7,0	9,2
	III	14,7	6,3	18,7	10,3	5,8
	IV	54,8	7,2	24,7	9,7	10,6
	V	36,7	6,7	22,2	10,0	8,6
Прозрачность, см	I	>30,0	26,1	22,3	14,6	23,5
	II	20,7	23,7	19,3	14,6	22,1
	III	24,2	25,3	24,9	17,2	28,7
	IV	24,8	23,9	17,5	12,6	18,4
	V	24,6	24,7	20,6	14,6	22,7
Общий фосфор, мг/кг ДО	II	1,08	4,19	1,89	6,75	3,18
	III	1,53	8,76	3,21	14,14	6,32
	IV	0,63	0,77	0,90	1,21	0,83
	V	1,08	4,19	1,89	6,75	3,18
Нитрат-ион, мг/кг ДО	II	6,59	38,4	43,9	22,4	10,5
	III	6,51	71,6	75,6	44,3	15,9
	IV	6,65	13,5	20,2	6,1	6,4
	V	6,59	38,4	43,9	22,4	10,5
Оксид железа (III), г/кг ДО	II	75,5	43,8	26,5	41,9	161,6
	III	115,4	61,7	24,5	54,7	330,0
	IV	35,6	30,5	28,0	32,4	35,3
	V	75,5	43,8	26,5	41,9	161,6
Оксид марганца (II), мг/кг ДО	II	7531	1276	804	893	890
	III	14033	1951	660	827	852
	IV	1031	792	912	942	919
	V	7531	1276	804	893	890

Приложение 9.2

Сезонная динамика средних значений основных количественных показателей
фитопланктона и водных макрофитов на прибрежных участках Ижевского
водохранилища в 2011 году (обозначения III–V — как в *приложении 9.1*)

Показатели		Май	Июль	Август	Октябрь
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	III	10,103	358,66	243,90	1077,02
	IV	11,439	392,90	266,51	1328,02
	V	10,866	378,23	256,82	1220,45
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	III	4,641	10,820	7,863	24,649
	IV	6,290	14,463	8,755	29,759
	V	5,583	12,902	8,373	27,569
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	III	7,461	356,15	243,19	1075,74
	IV	8,589	391,05	265,58	1327,64
	V	8,106	376,09	255,98	1219,68
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	III	0,353	8,765	6,807	22,769
	IV	0,243	11,548	7,697	29,330
	V	0,290	10,350	7,316	26,518
Численность диатомовых водорослей, тыс. кл./мл	III	2,012	1,033	0,420	1,240
	IV	2,234	0,383	0,168	0,190
	V	2,139	0,662	0,276	0,640
Биомасса диатомовых водорослей, мг/л	III	3,740	0,869	0,175	1,847
	IV	5,703	0,446	0,085	0,366
	V	4,862	0,627	0,124	1,001
Численность зеленых водорослей, тыс. кл./мл	III	0,565	1,403	0,103	0,036
	IV	0,563	1,380	0,613	0,190
	V	0,564	1,390	0,394	0,124
Биомасса зеленых водорослей, мг/л	III	0,218	0,400	0,057	0,034
	IV	0,148	1,934	0,382	0,063
	V	0,178	1,277	0,243	0,051
Численность эвгленовых водорослей, тыс. кл./мл	III	0,018	0,027	0,183	0
	IV	0,012	0,068	0,148	0
	V	0,015	0,050	0,163	0
Биомасса эвгленовых водорослей, мг/л	III	0,186	0,093	0,820	0
	IV	0,080	0,282	0,586	0
	V	0,125	0,201	0,686	0
Воздушно-сухая биомасса гидрофитов, г/м ²	III	н.д.	545,5	532,7	34,6
	IV	н.д.	89,4	100,5	0
	V	н.д.	284,9	285,7	14,8
Воздушно-сухая биомасса гелофитов, г/м ²	III	н.д.	685,5	764,0	500,0
	IV	н.д.	399,6	221,5	186,0
	V	н.д.	522,1	454,0	320,6

Приложение 10.1

Сводная таблица некоторых физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за май 2012 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
рН, ед.	8,7	8,7	8,8	8,6	8,7	8,7	8,3
Кислород растворенный, мг/л	13,1	13,6	13,5	12,7	12,8	13,5	11,5
ХПК, мг/л	45	44	39	41	38	45	38
БПК, мг/л	6,00	3,78	3,58	2,40	3,37	2,67	2,59
Фосфат-ион, мг/л	0,0565	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Фосфор общий, мг/л	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Нитрат-ион, мг/л	0,410	0,436	0,500	0,560	0,740	0,820	0,990
Аммоний-ион, мг/л	0,61	0,62	0,63	0,60	0,62	0,61	0,74
Взвешенные вещества, мг/л	11,0	14,6	12,0	14,1	13,3	12,0	11,0
Прозрачность, см	20,8	20,8	24,4	22,6	23,8	23,9	23,3
Фосфат-ионы (кислоторастворимые) в ДО, мг/кг	541	2490	4050	154	3250	3730	н.д.
Азот нитратов в ДО, мг/кг	3,60	2,08	6,90	0,72	1,88	2,65	н.д.

Приложение 10.2

Сводная таблица некоторых физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за июль 2012 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
рН, ед.	8,1	8,4	8,3	8,6	8,3	8,4	8,4
Кислород растворенный, мг/л	6,47	7,30	5,97	6,64	5,81	4,81	5,56
ХПК, мг/л	46	44	47	44	44	46	45
БПК, мг/л	4,54	4,17	4,29	4,15	3,80	4,40	3,69
Фосфат-ион, мг/л	0,112	0,176	0,193	0,228	0,244	0,239	0,258
Фосфор общий, мг/л	0,049	0,058	0,068	0,099	0,103	0,103	0,119
Нитрат-ион, мг/л	0,404	0,365	0,385	0,397	0,333	0,320	0,333
Аммоний-ион, мг/л	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,37
Взвешенные вещества, мг/л	5,6	8,5	6,4	7,7	9,5	6,3	9,1
Прозрачность, см	15,5	14,6	15,5	14,9	13,6	13,3	14,6
Фосфат-ионы (кислоторастворимые) в ДО, мг/кг	2800	214	235	2880	3020	4880	790
Азот нитратов в ДО, мг/кг	2,89	3,06	4,10	1,90	1,85	2,34	1,27

Приложение 10.3

Сводная таблица некоторых физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за сентябрь 2012 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
рН, ед.	8,3	8,3	8,6	8,7	8,3	8,6	8,6
Кислород растворенный, мг/л	11,7	12,1	14,0	14,8	12,5	13,6	12,8
ХПК, мг/л	37,0	32,8	44,0	48,0	32,6	40,9	43,0
БПК, мг/л	6,24	3,99	5,55	4,73	3,74	4,88	3,90
Фосфат-ион, мг/л	0,0565	<0,05	0,094	0,122	<0,05	0,115	0,129
Фосфор общий, мг/л	<0,04	<0,04	0,051	0,058	<0,04	0,056	0,061
Нитрат-ион, мг/л	0,212	0,218	0,205	0,212	0,186	0,186	0,192
Аммоний-ион, мг/л	0,34	0,35	0,35	0,36	0,32	0,26	0,36
Взвешенные вещества, мг/л	4,1	5,9	9,0	11,6	10,8	17,1	10,4
Прозрачность, см	17,9	19,2	16,3	15,5	17,8	16,4	15,7
Фосфат-ионы (кислоторастворимые) в ДО, мг/кг	107	124	119	110	150	100	110
Азот нитратов в ДО, мг/кг	3,90	1,99	14,40	2,40	2,15	2,08	1,77

Приложение 10.4

Сводная таблица некоторых физико-химических показателей качества воды и донных отложений
в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за октябрь 2012 года (**жирным шрифтом**
выделены значения, превышающие ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения)

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
рН, ед.	8,0	8,1	8,2	8,1	8,3	8,3	8,3
Кислород растворенный, мг/л	9,02	9,82	9,66	9,34	10,40	10,10	10,20
ХПК, мг/л	29,4	30,2	33,2	35,3	34,3	38,3	35,3
БПК, мг/л	2,18	1,90	2,99	1,90	1,81	1,11	1,16
Фосфат-ион, мг/л	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Фосфор общий, мг/л	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Нитрат-ион, мг/л	0,640	0,600	0,423	0,314	0,340	0,301	0,295
Аммоний-ион, мг/л	0,40	0,41	0,40	0,33	0,60	0,54	0,46
Взвешенные вещества, мг/л	3,10	<3,00	3,15	<3,00	<3,00	3,30	<3,00
Прозрачность, см	>30,0	>30,0	23,8	23,7	26,4	21,5	21,2
Фосфат-ионы (кислоторастворимые) в ДО, мг/кг	118	98	110	116	96	105	107
Азот нитратов в ДО, мг/кг	24,40	2,52	10,20	3,40	1,69	1,91	1,83

Приложение 11.1

Сводная таблица некоторых количественных показателей фитопланктона и макрозообентоса в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за май 2012 года

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	9,536	8,130	10,620	8,738	7,005	7,262	6,330
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	4,981	5,189	4,198	3,178	4,064	4,180	2,820
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	7,081	5,510	8,250	7,320	5,710	5,830	6,010
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	0,190	0,110	0,240	0,210	0,200	0,220	0,420
Доля синезеленых водорослей от общей численности фитопланктона, %	74,3	67,8	77,7	83,8	81,5	80,3	94,9
Доля синезеленых водорослей от общей биомассы фитопланктона, %	3,8	2,1	5,7	6,6	4,9	5,3	14,9
Общая численность кормового макрозообентоса, экз./м ²	333,3	750,0	133,3	70,0	899,9	150,0	н.д.
Общая биомасса кормового макрозообентоса, г/м ²	6,151	5,585	2,798	2,340	13,406	1,100	н.д.
Биомасса пелофильных олигохет, г/м ²	0,366	2,585	0	0,030	1,108	0,250	н.д.
Доля пелофильных олигохет от общей биомассы макрозообентоса, %	6,0	46,3	0	1,3	8,3	22,7	н.д.
Биомасса хирономид, г/м ²	5,634	2,750	2,531	0,090	12,298	0,850	н.д.
Доля хирономид от общей биомассы макрозообентоса, %	91,6	49,2	90,5	3,8	91,7	77,3	н.д.

Приложение 11.2

Сводная таблица некоторых количественных показателей фитопланктона и макрозообентоса в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за июль 2012 года

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	15,255	12,850	13,200	13,203	10,345	10,470	7,800
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	2,372	1,255	1,388	1,655	1,265	1,100	0,945
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	14,680	12,600	12,700	12,700	10,330	10,260	7,780
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	2,280	1,200	1,290	1,442	1,190	1,055	0,705
Доля синезеленых водорослей от общей численности фитопланктона, %	96,2	98,1	96,2	96,2	99,9	98,0	99,7
Доля синезеленых водорослей от общей биомассы фитопланктона, %	96,1	95,6	92,9	87,1	94,1	95,9	74,6
Общая численность кормового макрозообентоса, экз./м ²	466,6	133,2	2150,0	600,0	900,0	50850,0	350,0
Общая биомасса кормового макрозообентоса, г/м ²	1,173	0,239	0,990	11,525	23,075	116,767	8,950
Биомасса пелофильных олигохет, г/м ²	0,933	0,083	0,400	0,750	0,275	0	0
Доля пелофильных олигохет от общей биомассы макрозообентоса, %	79,5	34,7	40,4	6,5	1,2	0	0
Биомасса хирономид, г/м ²	0,140	0,022	0,590	10,700	22,800	116,767	8,950
Доля хирономид от общей биомассы макрозообентоса, %	11,9	9,2	59,6	92,8	98,8	100,0	100,0

Приложение 11.3

Сводная таблица некоторых количественных показателей фитопланктона и макрозообентоса в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за сентябрь 2012 года

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	167,050	125,260	141,700	88,640	382,640	464,500	354,000
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	15,825	13,995	14,238	9,220	27,028	51,025	40,932
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	166,800	124,500	141,200	88,140	382,640	464,470	354,000
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	15,615	13,380	14,150	9,120	27,028	51,020	40,932
Доля синезеленых водорослей от общей численности фитопланктона, %	99,9	99,4	99,6	99,4	100,0	100,0	100,0
Доля синезеленых водорослей от общей биомассы фитопланктона, %	98,7	95,6	99,4	98,9	100,0	100,0	100,0
Общая численность кормового макрозообентоса, экз./м ²	0	400,0	450,0	150,0	600,0	533,4	400,0
Общая биомасса кормового макрозообентоса, г/м ²	0	3,150	2,500	0,250	11,250	1,564	9,300
Биомасса пелофильных олигохет, г/м ²	0	0,200	0,200	0,200	0,050	0,897	0
Доля пелофильных олигохет от общей биомассы макрозообентоса, %	0	6,3	8,0	80,0	0,4	57,4	0
Биомасса хирономид, г/м ²	0	1,850	2,150	0,050	10,950	0,467	9,300
Доля хирономид от общей биомассы макрозообентоса, %	0	58,7	86,0	20,0	97,3	29,9	100,0

Приложение 11.4

Сводная таблица некоторых количественных показателей фитопланктона и макрозообентоса в исследованных пунктах мониторинга Ижевского водохранилища за октябрь 2012 года

Показатели	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>
Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл	8,865	8,898	9,590	10,130	9,480	8,015	9,150
Общая биомасса фитопланктона, мг/л	3,520	2,690	2,988	1,428	0,997	0,880	0,895
Численность синезеленых водорослей, тыс. кл./мл	7,500	8,200	9,025	9,140	9,250	7,670	9,000
Биомасса синезеленых водорослей, мг/л	0,770	0,824	1,220	1,300	0,944	0,810	0,867
Доля синезеленых водорослей от общей численности фитопланктона, %	84,6	92,1	94,1	90,2	97,6	95,7	98,4
Доля синезеленых водорослей от общей биомассы фитопланктона, %	21,9	30,6	40,8	91,0	94,7	92,0	96,9
Общая численность кормового макрозообентоса, экз./м ²	3400,0	450,0	0	400,0	1500,0	1450,0	1750,0
Общая биомасса кормового макрозообентоса, г/м ²	9,637	3,400	0	2,850	11,460	17,248	17,373
Биомасса пелофильных олигохет, г/м ²	4,000	0,700	0	0,350	0,550	1,600	1,198
Доля пелофильных олигохет от общей биомассы макрозообентоса, %	41,5	20,6	0	12,2	4,8	9,3	6,9
Биомасса хирономид, г/м ²	3,617	1,900	0	2,150	9,910	15,448	15,225
Доля хирономид от общей биомассы макрозообентоса, %	37,5	55,9	0	75,4	86,5	89,6	87,6

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Антропогенное эвтрофирование пресных водоемов: причины и последствия (Котегов Б.Г.)	4
Глава 2. Общая характеристика Ижевского водохранилища (Котегов Б.Г.)	13
Глава 3. Материалы и методы (Котегов Б.Г., Аксенова Н.П., Захаров В.Ю., Холмогорова Н.В., Фефилова К.К.).....	19
Глава 4. Результаты исследований Ижевского водохранилища в 2010 году (Котегов Б.Г., Аксенова Н.П., Захаров В.Ю.)	27
4.1. Сезонная динамика основных физико-химических показателей в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища	27
4.2. Сезонная динамика основных количественных показателей фито- и зоопланктона в поверхностных слоях воды Ижевского водохранилища	37
4.3. Экологические факторы, определяющие развитие планктонных организмов в Ижевском водохранилище	48
4.4. Оценка биогенной (фосфорной) нагрузки на экосистему Ижевского водохранилища в мае-сентябре 2010 года	61
Глава 5. Результаты исследований Ижевского водохранилища в 2011 году (Котегов Б.Г., Аксенова Н.П., Фефилова К.К.)	71
5.1. Загрязнение воды и внутренняя фосфорная нагрузка на Ижевское водохранилище в конце зимы	71
5.2. Динамика биомассы продуцентов и содержания биогенных веществ в Ижевском водохранилище в летне-осенний период	76
5.3. Некоторые особенности круговорота фосфора в экосистеме Ижевского водохранилища	89

Глава 6. Результаты исследований Ижевского водохранилища в 2012 году (Котегов Б.Г., Аксенова Н.П., Холмогорова Н.В.)	95
6.1. Особенности сезонной динамики количественных показателей фитопланктона в верхней части Ижевского водохранилища	95
6.2. Некоторые гидрохимические и гидробиологические характеристики донных грунтов в верхней части Ижевского водохранилища	105
Глава 7. Практические рекомендации по снижению биогенной нагрузки на экосистему Ижевского водохранилища и уменьшению масштабов его «цветения» (Котегов Б.Г.)	113
Заключение	122
Литература	123
Приложения	132